

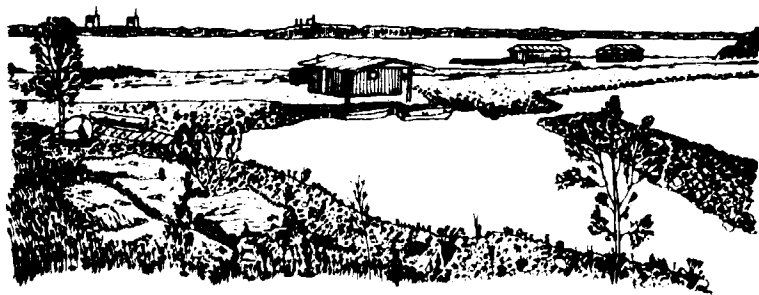
SE9100137

SNV-- 3767 .

Vegetationen i Biotestsjön, Forsmark 1974-1986

Sammanfattning

Staffan Renström
Roger Svensson
Marita Wigren-Svensson



Vegetationen i Biotestsjön, Forsmark 1974-1986

Sammanfattning

**Staffan Renström
Roger Svensson
Marita Wigren-Svensson**

Rapporten beställs från:
Kundtjänsten
Statens Naturvårdsverk
Smidesvägen 5
171 85 SOLNA

Tel 08-799 10 00

ISBN 91-620-3767-6
ISSN 0282-7298

Författad av:

Staffan Renström
Lilla Björka
590 96 Överum

Roger Svensson
Inst f ekologi och miljövård
Box 7072
750 07 Uppsala

Marita Wigren-Svensson
Inst f systematisk botanik
Box 541
751 21 Uppsala

Producerad och tryckt vid:
Kustvattenenheten, Uppsala
maj 1990, 500 ex.

Förord

Avdelningen för miljöövervakning vid Naturvårdsverket har initierat en rad undersökningar rörande floran och faunan i Biotestsjön vid Forsmarks kärnkraftverk. Syftet med våra undersökningar var främst att studera varmvattenutsläppens inverkan på strändernas och bottenarnas makrovegetation (alger och högre växter). Resultaten har successivt publicerats i fem rapporter.

Denna rapport sammanfattar åtta års undersökningar av makrovegetationens förändringar i och omkring Biotestsjön. Några speciella och väsentliga miljöfaktorer behandlas, förutom temperaturförhöjningen även frånvaron av is, den kraftiga vattenströmmen genom sjön samt effekten av själva invallningen. De ingående arternas ekologi och förekomst i sjön presenteras. Bottenvegetationens biomassa har beräknats för sjöns olika delområden, för hela sjön samt fördelat på olika arter. Jämförelser görs med andra delar av Östersjön. Strandvegetationens kraftiga tillväxt redovisas i bilder och siffror.

Vid fältarbete och publicering har vi fått praktisk hjälp samt råd och synpunkter av många, däribland Bengt Jonsell (1974 års undersökning), Olle Sandström och Torbjörn Willén. Nestorn bland ostkustkännarna, Mats Waern, har entusiastiskt tagit del av insamlat material och varit behjälplig vid vissa bestämningar. Olle Kellner har bistått med datorhjälp liksom Pauli Snoeijns, som dessutom själv utfört många undersökningar av främst mikrofyterna i Biotestsjön, och som givit många värdefulla synpunkter. Personalen vid biotestanläggningen har alltid varit hjälpsam med allehanda praktiska saker. Till samtliga riktas ett varmt tack.

Innehåll

Summary	5
Sammanfattning	6
1. Inledning	7
2. Forsmarks kärnkraftverk och Biotestsjön	9
Speciella faktorer och deras inverkan	11
Temperaturen	11
Istäcket	14
Vattenströmmen	14
Invallningen	14
3. Bottenvegetationen	14
Metodik	14
Resultat, Biotestsjön	17
Makrofyternas biomassa	17
Jämförelse med andra områden i Östersjön	19
Arternas biomassa	20
Arternas frekvens och utbredning	23
Vegetationens dynamik	36
Resultat, utanför Biotestsjön	41
Diskussion	42
4. Strandvegetationen	43
Metodik	43
Resultat	45
Diskussion	46
5. Referenser	49
6. Bilaga	52

Summary

Since 1980, Forsmark Power Plant has discharged large amount of cooling water into the Biotest basin. In 1974, before the dam was constructed, and 1980 to 1986, the macrophytic algae and higher vegetation inside and around the basin has been investigated, in order to elucidate the effect of the discharge water on the vegetation. The observed changes are mainly caused by the increased water temperature causing lack of ice cover during the winter, the embankment reducing the exposition, the heavy water stream through the basin and the reduced light transmission in the water. The most important changes have been following.

- * The macroscopic vegetation in the Biotest basin was originally distributed all over the lake, but is now mainly found in more shallow water. The deepest part, a passage from the input of the cooling water to the output, totally lacks vegetation. The reason for this is a combination of the heavy stream, raised temperature and reduced light transmission. Outside the basin no such upward process has been noticed.

- * The total biomass of macroscopic vegetation in the basin has been reduced from c. 70 metric ton in 1980 to c. 27 ton in 1982 and 1986.

- * Among the most important species, the production of *Chara spp.* and *Potamogeton pectinatus* have been strongly reduced, while *Cladophora glomerata* and *Vaucheria sp.* have increased. Especially for *Vaucheria*, the raised temperature has been of vital importance.

- * Among other species, *Tolypella nidifica* first increased, but has now totally disappeared. *Zannichellia palustris* was the only phanerogam which increased all the time since the water discharge started. It is *Z. palustris var. major* which stands for this increase, while *Z. palustris var. repens* has disappeared from the basin.

- * The shore vegetation, mainly reeds, has expanded conspicuously. From 1974 to 1980, the shore vegetation was favoured by the reduced exposition caused by the embankment. Since then, the raised temperature and absence of ice cover have resulted in an accelerating expansion of mainly *Phragmites communis*. *Scirpus tabernaemontani* and *S. maritimus* were first increasing, but do not seem to be able to compete with *Phragmites* in the long run.

Sammanfattning

Forsmarks kärnkraftverk släpper sedan 1980 ut stora delar av sitt kylvatten i en dammanläggning benämnd Biotestsjön. Sedan 1974, innan dammen konstruerades, och därefter mellan 1980 och 1986, har makrofytt- och helofyttvegetationen i och kring området undersökts i syfte att klarlägga utsläppens inverkan på vegetationen. De förändringar som konstaterats har förutom den förhöjda vattentemperaturen även orsakats av invallningen, vattenströmmen och den minskade ljustransmissionen. De viktigaste förändringarna har varit följande.

- * Makrofyternas djupamplitud har minskat i Biotestsjön, vilket resulterat i ett stort vegetationsfritt parti i de djupare delarna. Orsaken torde vara en kombination av den kraftiga strömmen, höjd temperatur och minskad ljustransmission. Någon motsvarande minskning i djupamplituden har inte konstaterats utanför sjön.

- * Makrofyternas totala biomassa i Biotestsjön har minskat från ca 70 ton 1980 till ca 27 ton 1982 och 1986.

- * Bland de arter som mest bidragit till biomassan har *Chara*-arterna och *Potamogeton pectinatus*, kransalger och spetsnate, minskat kraftigt medan *Cladophora glomerata* och *Vaucheria sp.*, grönslick och svartskinna, ökat. Särskilt för den senare torde temperaturförhöjningen haft en avgörande betydelse.

- * Bland övriga arter kan nämnas *Tolypella nidifica*, havsslinke, som till en början ökade kraftigt i frekvens men sedan totalt försvunnit. *Zannichellia palustris* är den enda fanerogam som genomgående ökat sedan utsläppen inleddes. För ökningen står *Z. palustris var. major*, storsärv, medan den ursprungligen vanligare *Z. palustris var. repens*, hårsärv, försvunnit.

- * Vassarna har hela tiden expanderat kraftigt. Fram till 1980 gynnades de av invallningen, som medförde minskad vågexposition och ökad sedimentation. Därefter har temperaturökningen och frånvaron av is lett till en accelererad expansion av framförallt *Phragmites communis*, bladvass. *Scirpus tabernaemontani* och *S. maritimus*, blåsäv och havssäv, ökade också till en början men tycks inte kunna konkurrera med bladvassen på sikt.

1. Inledning

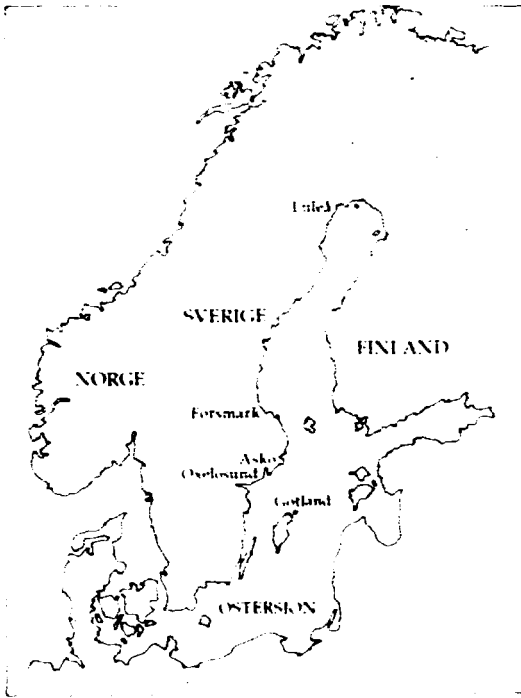
Vid ett kärnkraftverk kan endast en liten del av den utvunna energin utnyttjas för elproduktion. Resten måste bortföras på ett eller annat sätt och vid svenska reaktorer sker detta med hjälp av kylvatten. Stora mängder vatten förs in i reaktorn, upphettas och släpps ut igen, varvid det värmer upp recipienten. Eftersom temperaturen är en av de viktigaste abiotiska faktorerna i ett akvatiskt ekosystem leder detta till mer eller mindre omfattande miljöpåverkan där utsläppen sker.

Ändamålet med denna undersökning var att studera varmvattenutsläppens inverkan på strändernas och bottnarnas makrovegetation (alger och högre växter) i området kring Forsmarks kärnkraftverk. Redan 1974 skedde en första dokumentation av vegetationen från Fågelsundet i norr till Öregrund i söder (Wigren & Svensson 1974). Sedan sommaren 1980, när den första reaktorn togs i drift, har årliga undersökningar gjorts fram till 1986. Dessa har utförts i och omkring den biotestsjö som tar emot huvuddelen av utsläppen (tabell 1, fig 5). Undersökningarna för åren 1980-1986 finns redovisade i Svensson & Wigren-Svensson (1982, 1983) samt i Renström m fl (1985, 1990). I föreliggande arbete görs en sammanfattning av hela undersökningen.

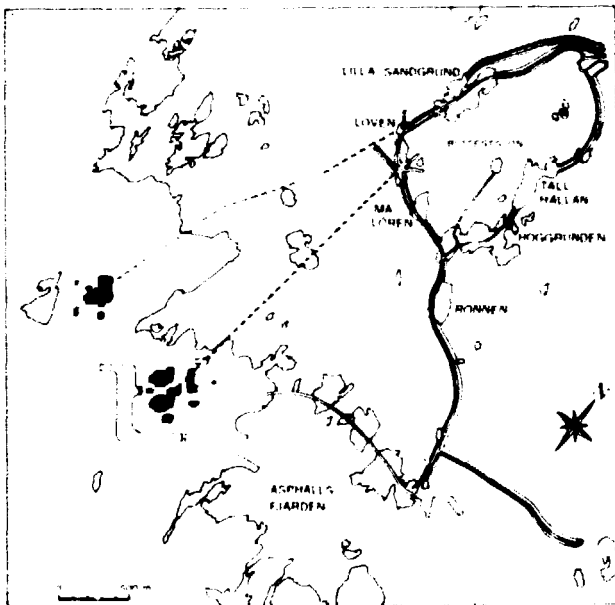
Tabell 1. Provtagningsprogrammet för undersökning av makrofytvegetationen i Biotestsjön. För vidare förklaring angående provtagning med Lutherräfsa och Ekmanhuggare, se metodikavsnittet.

År	Bottenvegetation			Strandvegetation	
	Biotestsjön		Utanför Biotestsjön	Biotestsjön	
	Luther	Ekman	Luther	Bestånd	Bandprofil
1974	5	-	4 (+1 vid Länsman)	Ja	Höggrunden
1980	73	27	-	Ja	-
1981	32	-	-	-	-
1982	70	27	-	Ja	-
1983	73	-	-	Ja	-
1984	41	-	-	Ja	-
1985	-	45	21 (+6 vid Länsman)	Ja	-
1986	-	93	-	-	-

Flera andra undersökningar rörande vegetationen i Biotestsjön har utförts. Bottnarnas makrovegetation behandlas även av Widahl (1985) och Nyquist (1987). Fytoplanktonproduktionen har studerats av Willén (1985) och de bentiska mikroalgernas produktion av Snoeijis (1985, 1986). Kvalitativa och kvantitativa undersökningar av främst mikroalgväxningen på hårdbottnar i hydrolittoralen har också utförts av Snoeijis (1987).



Figur 1. Karta som visar Forsmarks kärnkraftverk, beläget på norra delen av Upplandskusten, samt andra i texten nämnda områden.



Figur 2. Forsmarks kärnkraftverk och Biotestsjön.

2. Forsmarks kärnkraftverk och Biotestsjön

Forsmarks kärnkraftverk är beläget vid Bottenhavskusten i nordöstra Uppland (fig 1). Det ligger vid Öregrundsgrepen, vilket är benämningen på sundet mellan Gräsö och Upplandskusten. Kärnkraftverket består av tre kokarreaktorer på tillsammans 2.850 MW. Vid block ett startades driften i juni 1980 och vid block två i januari 1981. Den totala värmeeffekten är 5.400 MW medan den utvunna elektriska effekten är 1.800 MW. Överskottsvärmen leds med hjälp av kylvatten genom en 2 km lång tunnel ut i den så kallade Biotestsjön (fig 2). Det tredje blocket togs i drift 1985. Dess kylvatten släpps via en separat tunnel ut vid sidan om Biotestsjön.

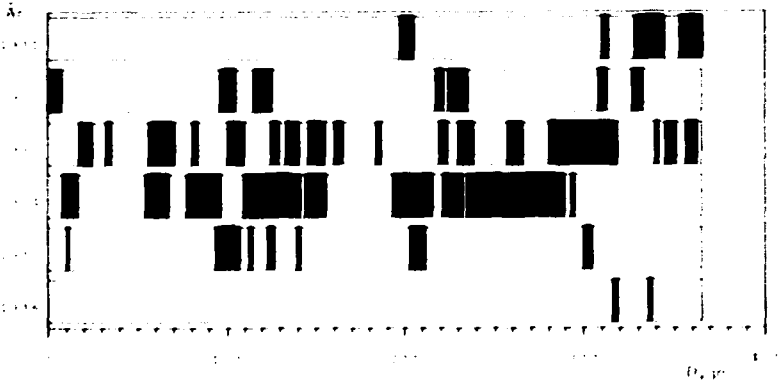
Biotestsjön skapades genom att binda samman ett antal små öar med vallar av schaktmassor. Syftet med anläggningen är att underlätta studiet av kylvattnets effekter på miljön. Vattnet, med ett flöde av ca $86 \text{ m}^3/\text{s}$ vid full drift (motsvarar Lagans normalvattenflöde), mynnar i sjöns södra del. Sjön är ca 750 m bred och 1.500 m lång och består av ett $0,9 \text{ km}^2$ stort, relativt grunt havsområde. Den är som mest ca 5 m djup och medeldjupet är ungefär 2,5 m. Den totala volymen har beräknats till 2,3 miljoner m^3 (SMHI 1983). Från inloppet i söder leds huvuddelen (70-90%) av kylvattenströmmen ganska snabbt (3-6 timmar) genom ett nord-sydligt djupstråk i sjön (fig 3) till det i norr belägna utloppet. Vattenströmmen har här en hastighet av 10-30 cm/s. Vid in- och utlopp är den betydligt större (2 m/s). I den sydöstra delen har en väg byggts ut till en ö i sjön. Därigenom har ett avskärmat område skapats där vattnets uppehållstid uppgår till flera dygn. En del av detta område har reserverats för ett hägn, där man föder upp den i Östersjön utrotningsshotade gråsälén. Biotestsjön har alltså karaktär av både flod och sjö, med huvuddragen av ena eller andra typen i olika delar av sjön.

I anslutning till inloppet finns också ett reservutlopp vid sidan av Biotestsjön genom vilket kylvattnet kan ledas direkt ut i havet. Beroende på hur öppet detta system är kommer olika mängder vatten att strömma genom sjön. I medeltal beräknas 25% av vattnet gå genom Biotestsjön även om reservutloppet är helt öppet (O. Sandström muntl). 1983 och 1984 var reservsystemet öppet över hundra dagar. Under en stor del av tiden när reservutloppet var stängt kördes reaktorerna med reducerad effekt varför fullt flöde genom Biotestsjön nästan endast förekom under vintermånaderna. Påverkan från kylvattnet på vegetationen bör därför ha varit avsevärt reducerad dessa år. Övriga år har reservutloppet varit öppet i betydligt mindre omfattning (fig 4).

Kylvattnet får vid passagen av Forsmarksverket en temperaturförhöjning av $8-10^\circ\text{C}$. Större delen av Biotestsjön får därigenom en övertemperatur av samma storleksordning. Det innebär att temperaturen under sommartid når upp mot 25°C . Mot stränderna, där vattenflödet avtar, minskar övertemperaturen. Sjöns svalaste del är det skyddade området öster om vägen ut till ön, vilket är $5-6^\circ\text{C}$ varmare än opåverkat vatten. Någon is bildas inte vintertid.



Figur 2. Biotestsjön med djupkurvor för 3 och 4 m inritade. Inom det markerade djupområdet (>4 m djup) sker huvuddelen av kylvatten-transporten genom sjön.



Figur 4. Antal dagar då reservutloppet varit öppet. 0 = 1 januari, svart = öppet.

Vattnet i sjön har en salinitet på ca 5 promille. Hårdbotten dominerar i grunda och strandnära områden och utgör ca 60% av bottenytan (jfr Widahl 1985, Snoeijs 1986). Sedan invallningen kom till har organiskt material börjat ansamlas i områden som är mindre exponerade för kylvattenströmmen.

Speciella faktorer och deras inverkan

Vegetationen i Biotestsjön påverkas av en rad för anläggningen speciella faktorer. Förutom den förhöjda vattentemperaturen är den kraftiga vattenströmmen och frånvaron av istäcke av stor betydelse. Här följer en översikt över de abiotiska faktorer som är av speciellt intresse för Biotestsjöns makrofytvegetation. En genomgång av sjöns kemiska och fysikaliska egenskaper finns hos Snoeijs (1985). Även biotiska faktorer kan lokalt spela roll för vegetationen, bl a betande djur (t ex sniglar och fåglar) och påväxt av epifyter.

Temperaturen

Varje art är genetiskt anpassad att leva inom ett visst temperaturintervall. Vattentemperaturen har därför en avgörande betydelse för hur olika alggrupper konkurrerar med varandra. Bland mikroalgerna leder en höjning av temperaturen som regel till att kiselalger ersätts av grönalger, som vid än högre temperatur ersätts av blågrönalger. Under de förhållanden som råder i Biotestsjön har kiselalgerna gynnats mest, med hög biomassa året runt, speciellt vintertid. Grön- och blågrönalgerna har ökat med stigande temperatur och därför varit relativt vanliga under sommaren. Bland makroalgerna missgynnas framförallt röd- och brunalger av temperaturförhöjningar. För Biotestsjöns del har detta lett till att dessa främst förekommer under den kallare årstiden. Ett undantag utgör rödalgen *Ceramium tenuicorne*, ullsleke, som varit vanlig året om, men även den har varit mer frekvent utanför sjön i svalare vatten (Snoeijs 1987). Den förlängda vegetationsperioden har gynnats t ex *Cladophora glomerata*, grönslick, och *Enteromorpha*-arterna, tarmtång (Snoeijs 1988).

Även de högre växterna påverkas. Då olika arter har olika temperatur-optima gynnar en höjning arter som är anpassade till varmare förhållanden. Wallentinus (1979) refererar till undersökningar som visat att t ex *Zostera marina*, älgräs, ökar sin biomassa och blomproduktion vid temperaturökningar upp till 30-35°C, och att *Ceratophyllum demersum*, hornsärv, har tillväxtoptimum vid temperaturer runt 20°C och sätter frukt i bräckt vatten endast vid temperaturer över 27°C. För de arter som återfinns i Biotestsjön, har några sådana temperaturundersökningar inte gjorts.

Någon samlad redogörelse över olika makrofyters reaktion på varierande temperaturer finns oss veterligen inte. Man kan dock på olika grunder sluta sig till vilka arter som kan vara varmvattengynnade (tabell 2). Faktorer man då kan ta hänsyn till är t ex artens årstidscykel, dess huvudutbredningsområde, dess eventuella förekomst i temperaturförhöjda miljöer som

grunda vikar och hållkar. Nämnas bör dock att alla sådana här indelningsförsök försvåras av förekomsten av ekotyper (jfr Waern 1965).

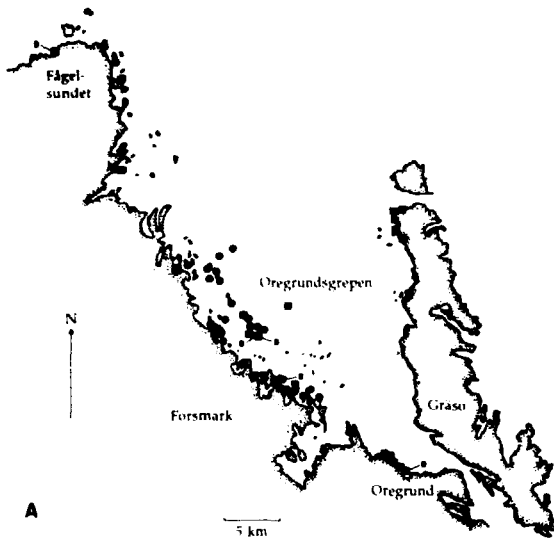
Under förutsättning att övriga miljökrav är uppfylla leder höjd temperatur i princip till en produktionsökning. Arter som innan en höjning lever nära sitt optimum kan dock i stället hämmas kraftigt, eftersom detta normalt ligger nära artens temperaturmaximum (Edler & Wachenfeldt 1981). På grund av den ökade respirationen som också följer stiger även minimikraven på ljus och näring. Av denna anledning kan både individernas vertikala utbredning och deras övervintringsmöjligheter påverkas (Svensson & Wigren-Svensson 1983).

Marina arter på gränsen av sitt utbredningsområde i salinitetshänseende drabbas också av en ökad respiration (Edler & Wachenfeldt 1981). Närings-tillgången blir då ofta den begränsande faktorn. På större djup där temperaturen är lägre behöver inte näringsbrist uppstå, varför dessa arter i Östersjön successivt ändrar sin vertikala utbredning mot djupet ju längre norrut de växer ("the downward process", se Waern 1965). För dessa växter är naturligtvis en temperaturökning mycket ogynnsam. Exempel på arter med huvudsakligen marin utbredning är *Chorda filum*, *Cladophora rupestris*, *Fucus vesiculosus*, *Furcellaria fastigiata*, *Najas marina*, *Ruppia spiralis*, sudare, bergborsting, blåstång, gaffeltång, havsnajas, skruvning och *Stictyosiphon tortilis*.

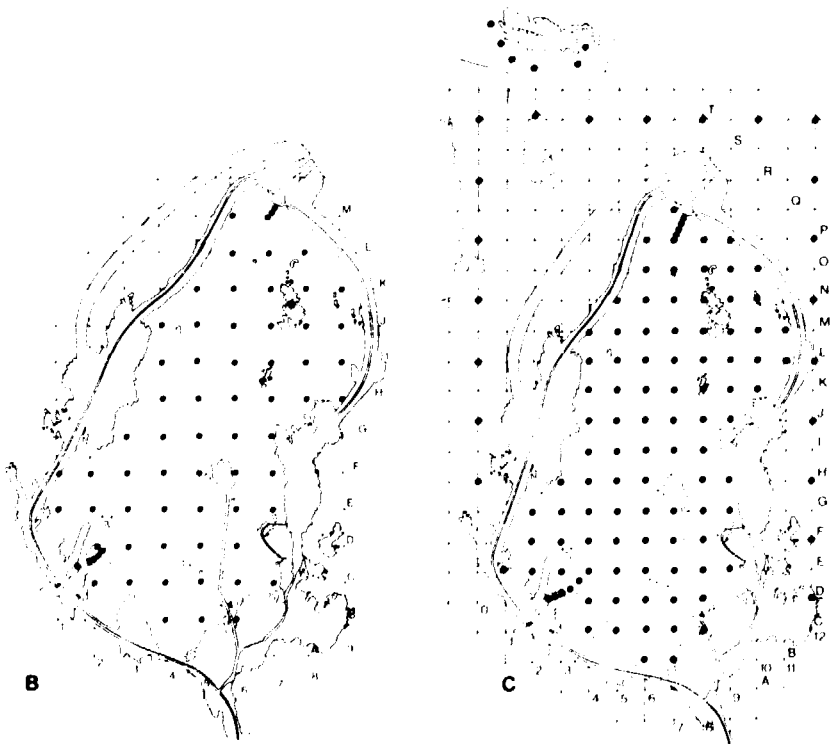
Då många vattenväxter bildar förökningsorgan vid bestämda kombinationer av dagslängd och vattentemperatur kan deras spridningsbiologi påverkas av en förhöjd värmenivå (Svensson & Wigren-Svensson 1983).

Tabell 2. Varmvattengynnade arter. Tabellen grundar sig på litteraturuppgifter om arternas ekologi och bör endast ses som ett förslag på arter som kan vara gynnade av en högre vattentemperatur.

Art	Anledning till placering i tabellen
<i>Chara tomentosa</i>	förekommer i grunda skyddade vikar
<i>Cladophora fracta</i>	förekommer i hållkar
<i>Cladophora glomerata</i>	förekommer i hållkar, temp. försök
<i>Cladophora rupestris</i>	förekommer i hållkar
<i>Enteromorpha ahlneri</i>	förekommer i hållkar
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	förekommer i hållkar
<i>Vaucheria dichotoma</i>	förekommer i grunda skyddade vikar
<i>Ceramium tenuicorne</i>	temperaturförsök
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	förek. i grunda skyddade vikar, sent utvecklad
<i>Myriophyllum spicatum</i>	förekommer i varma skyddade miljöer



Figur 5. Provpunkter vid
A. 1974 års undersökning
 (fyrkant = inventering av
 strandflora och övervat-
 tensvegetation, B visar
 var bandprofil lagts ut;
 punkt = inventering av
 bottenvegetation).
 B. 1980 - 1983 års under-
 sökning.
 C. 1984 - 1986 års under-
 sökning, inventering
 utanför sjön utfördes
 1985.



Istäckets

Frånvaron av istäcke vintertid är en av de stora skillnaderna mellan Biotestsjön och omgivande vatten. Isen har huvudsakligen en skuggande och eroderande effekt.

Istäckets inverkan på ljusförhållandena i vattnet är störst tidigt under vegetationsperioden och beror huvudsakligen på snötäcket. Ett 5 cm tjockt lager av våt och kompakt snö kan t ex reducera den inkommande ljusmängden till endast 1% medan snöfri is kan ha högre transmission än vatten av motsvarande tjocklek (Wallentinus 1976). Isens mekaniska påverkan är störst när den bryts upp på våren. Den kan då helt avlägsna vegetationen på klippor och botten ner till några meters djup, s k isskrivning (Waern 1952, Wallentinus 1976). Istäckets minskar dessutom turbulensen i vattnet och kan därigenom inverka negativt på syrehalten (Wallentinus 1976). Frånvaron av is torde därför främst gynna den fastsittande florans, speciellt då arter som kan övervintra som fullvuxna individer.

Vattenströmmen

Kraftiga vattenströmmar kan spola bort arter med dålig vidhäftningsförmåga och försvåra kolonisation med diasporer (Svensson & Wigren-Svensson 1983). För den bottenfasta vegetationen har måttlig vattenström positiv effekt genom att hindra sedimentation och öka näringstillgången (Wallentinus 1976). Detta borde vara gynnsamt då Bottenhavets vatten är näringsfattigt. Snoeij's (1988) har visat att Biotestsjöns näringsstatus är likvärdig med vattnet utanför sjön. Strömmen kan även förhindra påväxt av epifyter.

Kylvattenströmmen i sjön kan genom de partiklar den för med sig minska vattnets transmission. Under den pågående byggnadsverksamheten i området var detta extra tydligt.

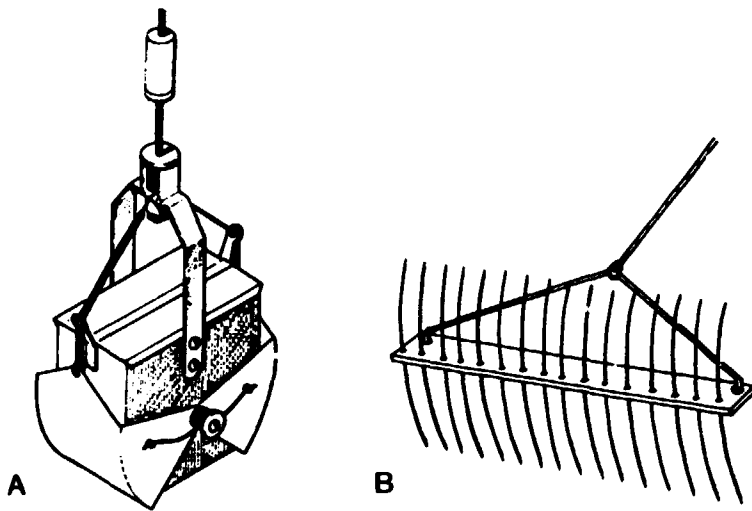
Invallningen

Invallningen inverkar framförallt genom att vågexpositionen minskar. För de delar av sjön som inte direkt berörs av kylvattenströmmen leder detta till en ökad sedimentation.

3. Bottenvegetationen

Metodik

Provtagningarna har skett från båt i slutet i augusti - början av september, när makrovegetationen är väl utvecklad. 1974 togs prov på kända mjukbottenfläckar inom ett stort område, utvalda med hjälp av en erfaren fiskare (fig 5A). Efter invallningen koncentrerades undersökningen till själva Biotestsjön. Som hjälp vid inventeringen lade vi 1980 ett tänkt rutnät över



Figur 6. Ekmanhuggare (A) och Lutherräfsa (B).



Figur 7. Provpunkter och områden för provtagning med Ekmanhuggare 1980 och 1982 (punkter) samt 1985 (vegetationstyp 1-5, rastrerat).

sjön i N-S/C-V riktning. Detta rutnät hade 125 m mellan provpunkterna (fig 5B), och användes åren 1980-1983. 1984 gjordes ett mera officiellt rutnät med 100 m mellan provpunkterna, och detta har vi därefter följt, för att få jämförbara provpunkter med andra undersökningar i sjön. Samma rutnät fick 1985 ligga till grund för provtagning utanför Biotestsjön. Då inventerades även bottenvegetationen kring ön Länsman, ett par km nordost om sjöns utlopp (fig 5C). Insamling av bottenvegetationen gjordes med hjälp av Lutherräfsa och Ekmanhuggare (fig 6). På grunt vatten användes vattenkikare som komplement.

Lutherräfsan används främst för kvalitativa mätningar. Med den hämtas vegetation från en större obestämd yta. Vid vår undersökning drogs räfsan ca 5 m över botten på varje provpunkt, vilket motsvarar en areal av ca 2 m². För att möjliggöra en kvantitativ jämförelse mellan arter och år gjordes med utgångspunkt från erhållna torrviktsvärden en grov skattning av vegetationsmängden enligt följande.

- 1 = Enstaka individ eller delar av individ (<0,1 g torrvt/m²)
- 2 = Räfsan täckt till 1/4 av vegetation (ca 0,1-1 g torrvt/m²)
- 3 = Räfsan täckt till 1/2 av vegetation (ca 1-25 g torrvt/m²)
- 4 = Räfsan helt täckt av vegetation (>25 g torrvt/m²)

Varje prov analyserades på laboratorium där artinnehållet fastställdes. Arternas procentuella andel av provet skattades. Vi har endast arbetat med makroskopiska alger och vattenlevande högre växter i sublittoralen (enligt du Rietz 1950). Bland makroskopiska alger räknar vi ej in de trådformade blågrön-, grön- och kiselalger som endast kan bestämmas under mikroskop. Vi sätter gränsen vid arter som kan urskiljas med blotta ögat.

Ekmanhuggaren tar ett vegetationsprov med en känd ytstorlek, i detta fall 2,25 dm², vilket gör den lämplig för kvantitativa undersökningar. Den ger dock en sämre bild av artstocken än Lutherräfsan och är bättre lämpad för provtagning på mjukbotten än hårbotten. 1980 togs Ekmanproven främst kring inloppet och östra delen av sjön (fig 7). Denna undersökning upprepades 1982. År 1985 togs proven på förutvalda platser där vi väntade oss likartad vegetation av sådan utsträckning att flera provtagningar på varje plats var möjlig. Dessa valdes utifrån föregående undersökningar så att de skulle representera sjöns olika vegetationstyper. 1986 togs prover med Ekmanhuggare över hela sjön enligt rutnätet i fig 5C. Även Ekmanproven analyserades med avseende på artinnehåll, varvid varje arts procentuella andel av proven bedömdes. Proven torkades sedan vid 105°C i 12 timmar varpå de vägdes.

Begränsningen till epilittoralen samt den sena tidpunkten för provtagningen har medfört att vissa arter inte har kommit med i undersökningen, t ex de trådformade brunalgerna *Ectocarpus* och *Pilaiella*, som är vanliga i sjöns hydrolittoral under vinter och tidig vår men sedan mer eller mindre försvinner. Enligt Snoeijs (1988) har dock *Ectocarpus siliculosus*, brunlick, gynnats av den förlängda vegetationsperioden medan *Pilaiella littoralis*, trådslick, konkurreras ut av snabbväxande kiselalger.

Nomenklaturen följer beträffande

- mossor: Corley m fl 1981, svenska namn Skytte m fl 1978
- alger: Waern 1952 och Wallentinus 1979, svenska namn Skytte m fl 1978, Krok & Almquist 1969
- fanerogamer: Lid 1974 (släktet *Zannichellia* dock enligt Hylander 1953).

Resultat, Biotestsjön

Makrofyternas biomassa

Makroalger och vattenlevande fanerogamer, lokalt även en mossa, utgör en viktig del av primärproducenterna i Biotestsjön vid sidan av bentiska mikroalger, speciellt under sommaren (jfr Snoeijs 1986). Biomassan ger en uppfattning om produktionens storlek, men där måste även arternas livslängd beaktas. En flerårig växt kan ackumulera biomassa under längre tid än en ettårig, och alltså vara mer oberoende av årsmånsvariationer. Allmänt uppnås största biomassan för de flesta makrofyterna i augusti-september då vi utfört undersökningarna. Provtagningen har skett med hjälp av Ekmanhuggare.

Undersökningarna har visat att det är mycket stora variationer i makrofyternas biomassa från år till år och från provpunkt till provpunkt, det sista givetvis beroende på sjöns mosaikartade vegetation. Vi har vissa år lokalt uppmätt höga biomassor främst vid inloppet, i bestånd av *Myriophyllum spicatum* och *Potamogeton pectinatus*, axslinga och borstnate (832 respektive 665 g/m² 1985), i *characée*-mattor, kransalger, (upp till 534 g/m² 1986), i *Cladophora rupestris*-beståndet, bergborsting, vid inloppet (225 g/m² 1980), i *Chara tomentosa*-beståndet, rödsträse, väster om vägen ut till ön och i *C. fragilis*-bestånd, skörsträse (204 g/m² 1980), samt i *Vaucheria*-mattor, svartskinna (168 g/m² 1986). Så höga värden är dock ovanliga. För de allra flesta proven ligger biomassan under 50 g/m², varför medelbiomassan för sjöns makrofyter är relativt låg. Som framgår av tabell 3 var den väsentligt högre 1980 innan varmvattnet började påverka vegetationen, än efteråt. Orsaken till detta står endast delvis att finna i det faktum att stora arealer successivt förlorat all vegetation sedan driftstarten. Även om man enbart beräknar sjöns medelbiomassa med utgångspunkt från de vegetationstäckta bottenarna, erhålls betydligt lägre värden än år 1980.

Tabell 3. Makrofyternas biomassa i Biotestsjön, angiven per ytenhet och beräknad som genomsnitt för hela sjön, årtal utmärkta med stjärna innebär att tomma prov ej är medräknade.

År	1980	1982	1982*	1986	1986*
Antal prov	27	27	22	93	77
Torrsvikt g/m ²	74	27	33	28	32

Att vissa områden var mycket produktiva trots, eller snarare tack vare varmvattenutsläppen, framgår av värdena från 1985 års undersökning (tabell 4). Långskottsvegetationen (vegetationstyp 3) och bestånd av *Potamogeton pectinatus*, borstnate (vegetationstyp 2) undersöktes strax innanför inloppet där vattnet är relativt grunt och vattenströmmen relativt kraftig. De torrsvikter som då erhöles är de högsta som uppmätts under hela undersökningen. I övriga vegetationstyper uppnåddes låga torrsviktvärden, trots att proven togs där vi visste att vegetationen var tät. Biomassan upp- gick visserligen till något högre värden än 1982 och 1986, men nådde ej upp till 1980 års resultat.

Tabell 4. Makrofyternas biomassa i vissa bestånd 1985 (medelvärden). Vegetationstyper: 1 = dominerande *Cladophora*, 2 = dominerande *Potamogeton pectinatus*, 3 = *Myriophyllum*-dominerad långskottsvegetation, 4+5 = lågvuxen mjukbottenvegetation (se fig 7). Provtagning med Ekmanhuggare.

Vegetationstyp	1	2	3	4+5
Antal prov	10	5	10	20
Torrsvikt g/m ²	22	419	312	54

Biotestsjön har indelats i områden, enligt en statistiskt grundad likhets- bedömning av provpunkternas artinnehåll (Twinspan, se vidare under Vegetationens dynamik). I tabell 5 ges biomassuppskattningar för dessa områden. Därav framgår att produktiviteten varierat kraftigt vid inloppet (område F) samt att det vegetationslösa området (område E) ökat. För övrigt hänvisas till vidare resonemang under ovanstående rubrik. Observera det stundtals låga antalet prov samt att undersökningsmetodiken 1985, med provtagningen koncentrerad till täta vegetationsytor, gynnat högproduktiva punkter.

Tabell 5. Makrofyternas biomassa i Biotestsjöns delområden. Provtagning med Ekmanhuggare. Resultatet anges i gram torrsvikt per m², medelvärden för samtliga prov. Antal provpunkter anges inom parentes. För förklaring av områdes- och gruppindelning, se Vegetationens dynamik och fig 15.

Område	A	B	C	D	E	F
Twinspangrupp	1,2	3,4	5,6	7	0	inlopp
1980	47 (4)	77(16)	18(1)	204(1)	-	90(5)
1982	30(16)	30 (2)	19(1)	-	0 (5)	56(3)
1985	43(30)	253(9)	-	-	-	489(6)
1986	23(67)	116(7)	-	-	0(16)	63(3)

Den totala biomassan av makrofyter i sjön beräknad som ton torrsvikt framgår av tabell 8. Sjöns yta har då satts till 0,9 km². 1980 var biomassan ca 70 ton men den har sedan varmvattenutsläppen inleddes sjunkit till ca 27 ton. Till sjöns biomassa bidrar dock även i högsta grad påväxtalger. Snoeijs (1986) har beräknat biomassan av mikrofyto bentos (mikroskopiska påväxtalger) på hård- och mjukbotten i sjön år 1984 till ca 53 ton.

Jämförelse med andra områden i Östersjön

Kvantifiering av makrofyternas biomassa har gjorts bl a kring gotländska fastlandet (Kautsky 1984), i Oxelösunds skärgård (Kautsky m fl 1983), vid Askö i Trosa skärgård (Jansson & Kautsky 1977, Jansson & Wulff 1977, Jerling & Lindhe 1977) och i Luleå skärgård (Kautsky m fl 1981) (för geografiskt läge se fig 1). Hos Wallentinus (1979) finns en ingående genomgång av olika arters betydelse för uppbyggnaden av biomassan i Östersjön.

Av störst intresse är undersökningarna i Asköområdet som artmässigt uppvisar relativt stor likhet med Öregrundsgrepen (Wallentinus 1979), speciellt vad gäller grönalger och fanerogamer. Biotestsjön är dock avsevärt artfattigare än både Öregrundsgrepen och Asköområdet, och liknar på så sätt även skärgården i Bottenviken. Speciell betydelse har avsaknaden av de stora brunalgerna och de högproduktiva rödalger. I Asköområdet svarar t ex *Fucus vesiculosus*, blåstång, för i medeltal 1/3 av biomassan ner till två meters djup, lokalt kan den utgöra hela biomassan ner till fem meters djup (Jansson & Kautsky 1977). Under detta bälte kan *Furcellaria fastigiata*, gaffelstång, ta över dominansen. Blåstångens stora betydelse beror dels på att den själv är storvuxen, dels på att den utgör ett viktigt underlag för andra arter. En annan viktig faktor som skiljer Biotestsjön från den yttre skärgården är dess ringa djup. Sjöns medeldjup är endast ca 2,5 meter. De djupare partierna har under årens lopp blivit allt fattigare på vegetation, för att nu vara i det närmaste vegetationsfria. De refererade undersökningarna visar att biomassan vanligen är låg strax under ytan, för att sedan öka ner till 5 meters djup. Därefter avtar den nedåt. De låga värdena nära ytan beror på

kraftiga vågrörelser, isskrap och torrläggning vid lågvatten. På större djup begränsas vegetationsutvecklingen av den avtagande ljusmängden.

Undersökningarna visar, precis som för Biotestsjön, på mycket stora variationer mellan olika provpunkter på samma lokal, såväl vad gäller artinnehåll som biomassa. Resultaten är sammanfattade i tabell 6. Där framgår att biomassan i Biotestsjön är tämligen jämförbar med andra områden, åtminstone vad gäller förhållandet innan anläggningen togs i bruk. De höga biomassevärden som uppmätts i Asköområdet (ca 20 km söder om Forsmark) orsakas av provpunkter på hårbotten med riklig *Fucus*-förekomst, på mjukbotten med *Zostera marina* och *Ruppia spiralis*, ålgräs och skruvning. Ingen av dessa förekommer annat än i form av enstaka individ i Biotestsjön. På så sätt liknar sjön undersökningsområdet i Oxelösund, där biomassan är relativt låg på grund av ett antal provpunkter med kraftig vågexponering, vilket medför att blåstången växer på större djup. Annars uppvisar Biotestsjön även likheter med Luleå-lokalen (600 km norr om Forsmark) där biomassan till stor del byggs upp av *Potamogeton gramineus*, gräsnete.

Tabell 6. Makrofytbiomassa i de övre tre metrarna på olika lokaler i mellersta och norra Östersjön i jämförelse med biomassan 1980 och 1986 i Biotestsjön. Referenser: (1) Jansson & Kautsky 1977, (2) Jansson & Wulff 1977, (3) Jerling & Lindhe 1977, (4) Kautsky 1984, (5) Kautsky m fl 1983, (6) Kautsky m fl 1981.

Lokal (referens)	Biomassa g/m ²		
	Minimum	Maximum	Medelvärde
Gotländska fastlandet (4)	100	630	327
Oxelösund (48% hårbotten) (5)	47	111	70
Trosa (Askö) hårbotten, inre skärgård (1)	78	610	346
Trosa (Askö) hårbotten, yttre skärgård (1)	78	230	163
Trosa (Askö) mjukbotten (3)	20	60	42
Trosa (Askö) mjukbotten (2)	28	60	42
Trosa (Askö) ospecificerat (5)	70	700	360
Biotestsjön 1980 (exkl veg.fri zon)	17	225	79
Biotestsjön 1986 (exkl veg.fri zon)	16	534	32
Luleå sandbotten (6)	10	27	15
Luleå lerbotten (6)	12	64	30

Arternas biomassa

Från undersökningarna med Ekmanhuggare kan de enskilda arternas biomassa i Biotestsjön uppskattas. I tabell 7 anges dessa värden i gram per m² och i tabell 8 är de viktigaste arternas totala biomassa i hela sjön beräknad som ton torrsvikt.

Tabell 7. Biomassan hos Biotestsjöns makrofyter i gram per m², beräknat som medelvärde av totala antalet prov.

År	1980	1982	1986
Antal prov	27	25	93
<i>Chara aspera</i>	0,50	7,70	2,47
<i>Chara baltica</i>	6,44	0,42	6,63
<i>Chara fragilis</i>	22,37	0,36	0,52
<i>Chara tomentosa</i>	5,65	.	.
<i>Tolypella nidifica</i>	.	0,16	.
<i>Cladophora glomerata</i>	2,88	9,12	7,27
<i>Cladophora rupestris</i>	12,18	.	.
<i>Enteromorpha ahlnneriana</i>	.	.	0,43
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	.	.	0,14
<i>Vaucheria</i> sp	.	1,06	4,85
<i>Ceramium tenuicorne</i>	.	.	1,30
<i>Furcellaria fastigiata</i>	.	.	.
<i>Polysiphonia</i> sp	.	.	0,01
<i>Drepanocladus aduncus</i>	.	.	0,02
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	.	1,00	0,91
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2,95	0,15	1,77
<i>Potamogeton filiformis</i>	.	.	0,11
<i>Potamogeton pectinatus</i>	24,81	10,02	3,15
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	0,39	.	.
<i>Ranunculus baudotii</i>	.	.	.
<i>Ruppia spiralis</i>	.	.	.
<i>Zannichellia palustris</i>	.	.	0,31

Tabell 8. Biotestsjöns biomassa totalt och fördelat på de vanligaste arterna för år 1980, 1982 och 1986. Sjöns yta är beräknad till 0,9 km². Vikten anges i ton torrsvikt.

År	1980	1982	1986
<i>Chara</i> spp	31,5	7,6	8,7
<i>Cladophora glomerata</i>	2,6	8,2	6,5
<i>Vaucheria</i> sp	0,0	1,0	4,4
<i>Myriophyllum spicatum</i>	2,7	0,1	1,6
<i>Potamogeton pectinatus</i>	22,3	9,0	2,8
Övriga	11,3	1,1	2,9
Totalt	70,4	27,0	26,9

De viktigaste arterna i Biotestsjön spelar stor roll även i andra områden i Östersjön (Wallentinus 1979). Nedan följer en jämförelse mellan våra resultat och andra undersökningar. Biomassevärdena är medeltal baserade på prov med förekomst av arterna, framförallt i renbestånd.

Chara spp, kransalger, kan lokalt ge höga värden, men saknar betydelse för den totala biomassan. I Asköområdet har man lokalt noterat upp till 90 g/m^2 för *C. aspera*, borststräfsse, i medeltal annars endast $0,1-1 \text{ g/m}^2$ för flera arter. Från Danmark finns uppgifter om att characéerna lokalt kan ge maximalt 670 g/m^2 . Vi noterade upp till 534 g/m^2 1986 för *Chara baltica*, grönsträfsse och 204 g/m^2 1980 för *C. fragilis* och *C. tomentosa*, skörsträfsse och rödsträfsse, i medeltal annars mellan 5 och 103 g/m^2 för characéerna, där det högre värdet uppmättes 1980 och det lägre 1986.

Cladophora glomerata, grönslick, varierar kraftigt i uppträdande, men är en viktig art för biomassan, speciellt i områden utan blåstångsvegetation. Den utgör ett viktigt underlag för kiselalger. Från Askös yttre skärgård finns uppmätta värden på mellan 2 och 204 , i medeltal 144 g/m^2 . För ett större område gäller i medeltal 92 g/m^2 . Vi har betydligt lägre värden för Biotestsjön, med maximalt 90 g/m^2 (1986), i medeltal uppmättes 39 g/m^2 1980 och 22 g/m^2 1986.

Vaucheria sp, svartskinna, är en viktig art på lerbottnar i Luleå skärgård men biomasseuppgifter saknas. I Biotestsjön har arten ökat i betydelse och producerade 1986 upp till 168, i medeltal 62 g/m^2 .

Myriophyllum spicatum, axslinga, växer både på ler- och sandbottnar, ofta i små glesa bestånd och är därför av mindre betydelse för biomassan annat än lokalt. I Asköområdet har man främst noterat den på två till tre meters djup på mjukbotten, med en biomassa på upp till 22 g/m^2 . I Biotestsjön har dess förekomst varierat, 1985 uppmättes mycket höga värden i ett smalt bälte vid inloppet, med en biomassa på upp till 832 g/m^2 , medan den ett år senare producerade maximalt 58, i medeltal 12 g/m^2 .

Potamogeton pectinatus, borstnate, är den dominerande fanerogamen på ner till tre meters djup vad gäller biomassan. Från Asköområdet finns noteringar om 28 g/m^2 på en meters djup. I Biotestsjön spelar den betydligt större roll, även om den varierar något från år till år. 1980 uppmättes upp till 111, i medeltal ca 70 g/m^2 , 1985 vid inloppet upp till 665, i medeltal 419 g/m^2 och 1986 upp till 235, i medeltal 80 g/m^2 .

Ceramium tenuicorne, ullsleke, är den vanligaste algen i Biotestsjön liksom i hela skärgården. Den producerade i medeltal en biomassa på ca 20 g/m^2 , vilket överensstämmer med uppgifter från Asköområdet. Längre norrut ger den mycket lägre värden, i norra Bottenviken endast maximalt $0,7 \text{ g/m}^2$.

Enteromorpha spp, tarmtångsarter, är ånnuella arter med stor variation i storlek, uppträdande och biomassa. De kan bilda bälten, men oftast förekommer de som lösliggande trådar bland annan vegetation. Vi har inte funnit några biomasseuppgifter från andra områden, i Biotestsjön har vi uppmätt maximalt 23 g/m² i ett renbestånd 1986.

Callitriche hermaphroditica, höstlänke, och *Zannichellia palustris*, liten hårsärv, är två fanerogamer som lokalt kan bilda täta mattor på sand- eller lerbotten och där bidra till biomassan, men som annars är av underordnad betydelse. År 1986 mätte vi upp till 74 g/m² på en provpunkt med tät *Callitriche*-vegetation. I norra Bottenviken har den rapporterats bilda bälten med biomassa på maximalt 6 g/m². *Zannichellia*-mattorna i Biotestsjön producerade upp till 15 g/m², liknande värden finns från norra Östersjön.

Arternas frekvens och utbredning

Genom provtagningen har arternas förekomst och utbredning i sjön kartlagts. Resultaten sammanfattas i tabell 9-10. Nedan följer en genomgång art för art av de förändringar som skett sedan undersökningarna inleddes. I fig 8-14 visas utbredningen för några av arterna vid fyra olika tillfällen från varmvattenutsläppens början till sista undersökningstillfället.

Chara spp kransalger

Eftersom det är svårt att säkert hänföra små växtdelar av släktet till art liksom att dela upp ett blandat prov på de skilda arterna redovisas släktet kollektivt (fig 8). En artuppdelning har dock skett under arbetets gång och finns redovisad i Renström m fl (1985, 1990).

Kransalgerna bör ha gynnats av invallningen, som skedde mellan 1974 och 1980. Det låga antalet prov 1974 tillåter dock inga säkra slutsatser. 1980 var släktet det dominerande i sjön med ungefär halva dess biomassa och en jämn utbredning över hela bottenytan. När varmvattenutsläppen inleddes med provdrift i juni 1980 skedde genast en halvering av släktets frekvens, varefter denna nivå i stort sett legat konstant. Minskningen har varit kraftigare i påverkade områden nära mittrännen än i skyddade delar av sjön. Från inloppet till utloppet, där huvuddelen av vattenströmmen passerar genom sjön, har kransalgerna helt försvunnit. Charofyter är adapterade till näringsfattiga och klara vatten (Forsberg 1965, Wallentinus 1972), vilket Östersjön normalt anses vara. På grund av vattenströmmen genom Biotestsjön ökar näringstillgång och grumlighet vilket förklarar tillbakagången.

Bland de fyra *Chara*-arter som noterats i sjön har de som anses vara känsligast för vattenrörelser (Renström m fl 1985) minskat mest. *C. tomentosa*, rödsträse, höll sig kvar inne i lagunen öster om vägen ut till ön fram till 1983 men har sedan inte återfunnits. Den är konkurrenssvag och förökar sig främst vegetativt eftersom den är dioik och sällan bildar sporer. Den har därför svårt att återkomma där den en gång blivit utträngd (Hasslow 1931). *C. fragilis*, skörsträse, som 1980 var sjöns helt dominerande art, är nu inte vanligare än de två relativt expositionståliga *C. aspera* och *C. baltica*,

borststräse och grönsträse. Characterna bildade på några platser mer eller mindre rena bestånd vilket annars var ovanligt i sjön.

Tolypella nidifica havsslinke

Denna annuella kransalg är konkurrenskänslig och ganska expositions-känslig, känd som en karaktärsart på mekaniskt störda bottnar (Wallentinus 1979). Den ersatte till en början *Chara fragilis* när denna gick tillbaka i djuprännan i sjöns mitt. 1983 hade havsslinken åter minskat kraftigt, 1985 var den relativt ovanlig och 1986 kunde vi inte återfinna den alls.

Cladophora glomerata grönslick

Cladophora glomerata förekom i sjön tillsammans med *C. fracta*. Den senare var 1982 relativt vanlig men övriga år har grönslicken varit den helt dominerande. Någon uppdelning av de två arterna har inte kunnat ske varför de redovisas tillsammans (fig 9).

C. glomerata är en expositionstålig, varmvatten- och näringsgynnad alg. Den har sedan utsläppen inleddes expandera kraftigt och tillsammans med *Chara spp* oftast dominerat biomassan i sjön. De flesta block och hållar i sjön var täckta av grönslick. Den var ungefär lika vanlig i sjöns alla delområden och saknades bara i det vegetationsfria området och i delar av inlopps- och utloppsområdet. Förekomsten har dock varierat mellan åren liksom i andra undersökningar. I Östersjön har den ökat markant uppe i vågzone under de senaste åtiondena till följd av den ökade mängden växtnäringssämnen (Rosenberg 1982). Den trivs inte vid låga ljus- och temperaturförhållanden, men kan i Biotestsjön överleva vintern och påbörja tillväxten betydligt tidigare än under naturliga förhållanden (Snoeij 1988).

Cladophora rupestris bergborsting

Denna fleråriga marina alg tål strömmande vatten, men är känslig för sedimentation och hade i Biotestsjön sin huvudsakliga utbredning på klipporna vid inloppet, där den vissa år var mycket vanlig. Dess förekomst där har dock kännetecknats av kraftiga fluktuationer. Widahl (1985) noterade den även i sjöns mittparti i det "vegetationsfria" stråket. Den är annars känd för att föredra lite djupare belägna exponerade klippor, gärna branta klippsidor, just så som den växer vid inloppet (Waern 1952, Wallentinus 1972).

Enteromorpha spp tarmtångsarter

I undersökningarna har tre *Enteromorpha*-arter identifierats. Det är å ena sidan *E. clathrata* och *E. ahlnertiana*, å andra sidan *E. intestinalis*. Snoeij (1987) fann ytterligare tre arter, *E. compressa*, *E. flexuosa* och *E. prolifera*. Säker artbestämning kräver mikroskopering (en värdefull översikt över arternas mikroskopiska karaktärer finns hos Snoeij 1987). De viktigaste arterna i Biotestsjön torde vara *E. intestinalis* och *E. ahlnertiana*, enkel tarmtång och tarmtång (jfr Wallentinus 1979). De kan vara svåra att särskilja habituellt och redovisas därför tillsammans (fig 10). Separata värden för *E. intestinalis* återfinns dock i Renström m fl (1985, 1990).

Släktet förekommer ofta i naturligt näringsrikt liksom i förorenat vatten och verkar ha gynnats måttligt av temperaturförhöjningen även om föränd-

ringarna är små. Förekomsten har varit ungefär likartad i sjöns alla delområden, med tyngdpunkt vid inloppet, vilket även Snoeij's (1988) har funnit. *E. ahlneri* är en höstart som får en förlängd vegetationsperiod i Biotest-sjön (Snoeij's 1988).

Vaucheria cfr dichotoma svartskinna

Denna alg har tydligt gynnats av den förhöjda vattentemperaturen och ökade näringstillgången. Den förekom inte alls i sjön 1980 medan den 1986 var en av de vanligaste arterna både vad gäller biomassa och frekvens (fig 11). Den saknades nästan helt vid inlopp och utlopp där vattenströmmen är starkast varför det är troligt att värmetillskottet spelar en avgörande roll för artens expansion. Den trivs framför allt i grunda, instängda gyttjevikar där temperaturen ofta kan bli mycket hög.

Chorda filum snärjtång, sudare

Snärjtång förekom på en provpunkt 1974 men har sedan inte återfunnits. Några säkra slutsatser kan givetvis inte dras av detta, men denna liksom övriga brunalger verkar missgynnas av den höjda temperaturen. Den är en sommarart som dör bort på hösten. Sporofyten kräver salt och klart vatten för sin utveckling (Wallentinus 1979). Nordgränsen går i mellersta delen av Bottenhavet (Waern 1952).

Fucus vesiculosus blåstång

Blåstång noterades på enstaka provpunkter 1974 och 1980, men har sedan inte återfunnits. Den kräver ett rent vatten med hög transmission och lär inte fördra varmt vatten i kombination med låg salinitet (Wallentinus 1979). Den har sin nordgräns för fastsittande individ i norra Bottenhavet.

Stictyosiphon tortilis

Algen saknar svenskt namn. Den förekommer endast under vår och försommar, och visar samma tendens som de båda andra brunalgerna, *Chorda filum* och *Fucus vesiculosus*. Den har sin nordgräns i detta område, där den är en ishavsrelik, som främst växer på stort djup, mest i sprickor och grottor, i direkt solljus endast på näringsberikade lokaler som fågelskär (Waern 1952). Den fanns på en provpunkt 1980 (lösliggande, förkrympt form) men har inte återfunnits senare.

Ceramium tenuicorne ullsleke, havsmossa

Detta är en brackvattensart som oftast varit vittspridd i sjön utan att nå någon högre biomassa. Den förefaller ha ökat något de senare åren men uppvisar kraftiga årsvariationer. Liksom för t ex *Cladophora glomerata* erhöles en låg notering 1984 vilket kan bero på att kylvattnet då till största delen leddes vid sidan av Biotestsjön (fig 4). Ullsleken är ganska jämnt spridd över sjön, växande på grusbotten, sten och klippor nära ytan och epifytiskt på annan vegetation. Den är tämligen tolerant mot strömmande vatten (Waern 1952) och har ett högt temperaturoptimum, ca 25°C (Wallentinus 1979). Den var relativt sett vanligare inne i sjön under vintern medan den under sommaren varit vanligare utanför (Snoeij's 1988).

Furcellaria fastigiata gaffeltång, kräkel

Gaffeltång uppvisar enstaka förekomster genom åren. Materialet är för litet att dra slutsatser ur. Den har sin nordgräns i södra Bottenhavet, men anges vara vanlig i området, dock normalt på djup under 4 meter och funnen ner till 17 meter (Waern 1952).

***Polysiphonia* sp** fjäderslick

Fjäderslick noterades på en provpunkt 1974 och 1986. Det torde röra sig om *P. nigrescens*. Denna växer vanligen på större djup än 4 meter och saknar förmåga till sexuell förökning i området (Wallentinus 1979).

Drepanocladus aduncus ler-krokmossa

Denna mossa förekom relativt konstant i lagunen öster om vägen ut till ön och angränsande delar väster därom. Den föredrar skyddade, vågräta bottnar i näringsrika sjöar (Krusenstjerna 1945) och är expositions känslig eftersom den inte rotar sig i underlaget.

Callitriche hermaphroditica höstlänke

Arten ökade fram till 1983 men har sedan minskat något. Den uppträdde lokalt i renbestånd med relativt hög biomassa utan att tillhöra de mer betydande arterna i sjön. Den förekom inte där vattenströmmen är som starkast. Höstlänke är en sent utvecklad, konkurrenssvag, ånnuell art som främst växer i skyddade lägen.

Myriophyllum spicatum axslinga

Denna blomväxt är eutrof och föredrar varma skyddade lägen, även om den är expositionstålig, och förefaller ha gynnats av invallningen. Den var 1980 och 1981 mycket vanlig men har sedan gått tillbaka (fig 12). Detta beror huvudsakligen på att den inte förmått hålla sig kvar i det centrala djupområdet. Den har tillsammans med *Potamogeton pectinatus* dominerat vegetationen i den kraftiga vattenströmmen vid in- och utlopp. *Potamogeton* intog där de stridaste delarna och *Myriophyllum* de något lugnare.

Najas marina havsnajas

Denna art har vi inte funnit vid våra undersökningar i sjön. Widahl (1985) kunde dock vid dykinventering notera ett 20-tal individ på två platser, i viken söder om Lilla Sandgrund och vid öarna i sjöns nordöstra del. Arten är ettårig och har svag konkurrenskraft gentemot perenner. Den är beroende av hög vattentemperatur vid slutet av växtsäsongen för att kunna producera mogna frön (Lundegårdh-Ericson 1972).

Potamogeton filiformis trådnete

Trådneten har långsamt minskat och uppträdde 1986 mycket sparsamt. Den växer normalt på mer eller mindre exponerade grunda bottnar (Renström m fl 1985). I Biotestsjön föreföll den att undvika vattenströmmen. Minskad ljustransmission i sjön har troligen missgynnat denna ljuskrävande art.

Potamogeton pectinatus borstnate

Detta är en av de dominerande fanerogamerna längs mellersta och norra Östersjökusten. Den var till en början mycket vanlig i Biotestsjön och överträffades 1980 bara av *Chara spp.* Den har sedan sakta minskat i betydelse även om den 1986 fortfarande var en av sjöns vanligaste växter (fig 13). Minskningen har skett i alla delområden utom vid inloppet, där den dominerat helt. Enligt Luther (1951) är den inte lika expositionstålig som *P. filiformis*, men mycket konkurrensstarkare. De kraftiga bestånden vid inloppet visar dock att den tål åtminstone strömningsrörelser mycket bra. Även Boynton m fl (1981) har funnit att den fördrar exponerade lokaler.

Potamogeton perfoliatus ålnate

Även denna fanerogam har tydligt missgynnats och visat en successiv minskning. Den föredrar skyddade lägen och förekom i glesa bestånd på lerbotten, främst längs sjöns stränder. 1986 förekom den endast vid inloppet, och kom inte med i något prov.

Ranunculus baudotii vitstjälksmöja

Denna smörblommväxt visade samma vikande tendens som *Potamogeton*-arterna och *Myriophyllum*. Eftersom den aldrig varit speciellt vanlig i sjön blir emellertid slutsatserna ganska osäkra. Den växer i glesa bestånd på lerbotten i inte alltför skyddade lägen med cirkulerande vatten.

Ruppia spiralis skruvning

Skruvning är en art som dyker upp då och då på någon enstaka provpunkt. Den var däremot relativt vanlig utanför Biotestsjön (se Renström m fl 1990 och kapitlet om vegetationen utanför sjön). Den har sin nordgräns i Uppland, vid Örskär på norra Gräsö inte långt från Forsmarksområdet (M. Waern muntl).

Zannichellia palustris liten hårsärv

Detta är den enda fanerogam som ökat i frekvens medan undersökningen pågick. Den expanderade fram till 1983 och har sedan i stort sett behållit denna nivå (fig 14). Två av artens varieteter förekom i sjön, *Z. palustris var. major*, storsärv, och *Z. palustris var. repens*, hårsärv. Den sistnämnda, vilken är en expositions känslig art som förekommer på grunt vatten, dominerade materialet från början men påträffades inte under senare år. Expansionen svarade i stället storsärven för. Den har ett kraftigt rotsystem och tycks vara den vattenfanerogam som är hårdigast mot stark exposition (Ericson 1973), och är en karaktärsart för rörliga och exponerade bottenar. I Biotestsjön förekom den lokalt i täta mattor på lerbottenfläckar.

Tabell 9. Makrofyternas frekvens i Biotestsjön 1974-1986. Proven är 1974-1984 tagna med Lutherräfsa och 1986 med Ekmanhuggare. Tabellen visar artens förekomst i procent av totala antalet prov. Inom parentes anges artens genomsnittliga procentuella andel av proven i vilka den förekom (bedömdes inte vid 1974 års undersökning).

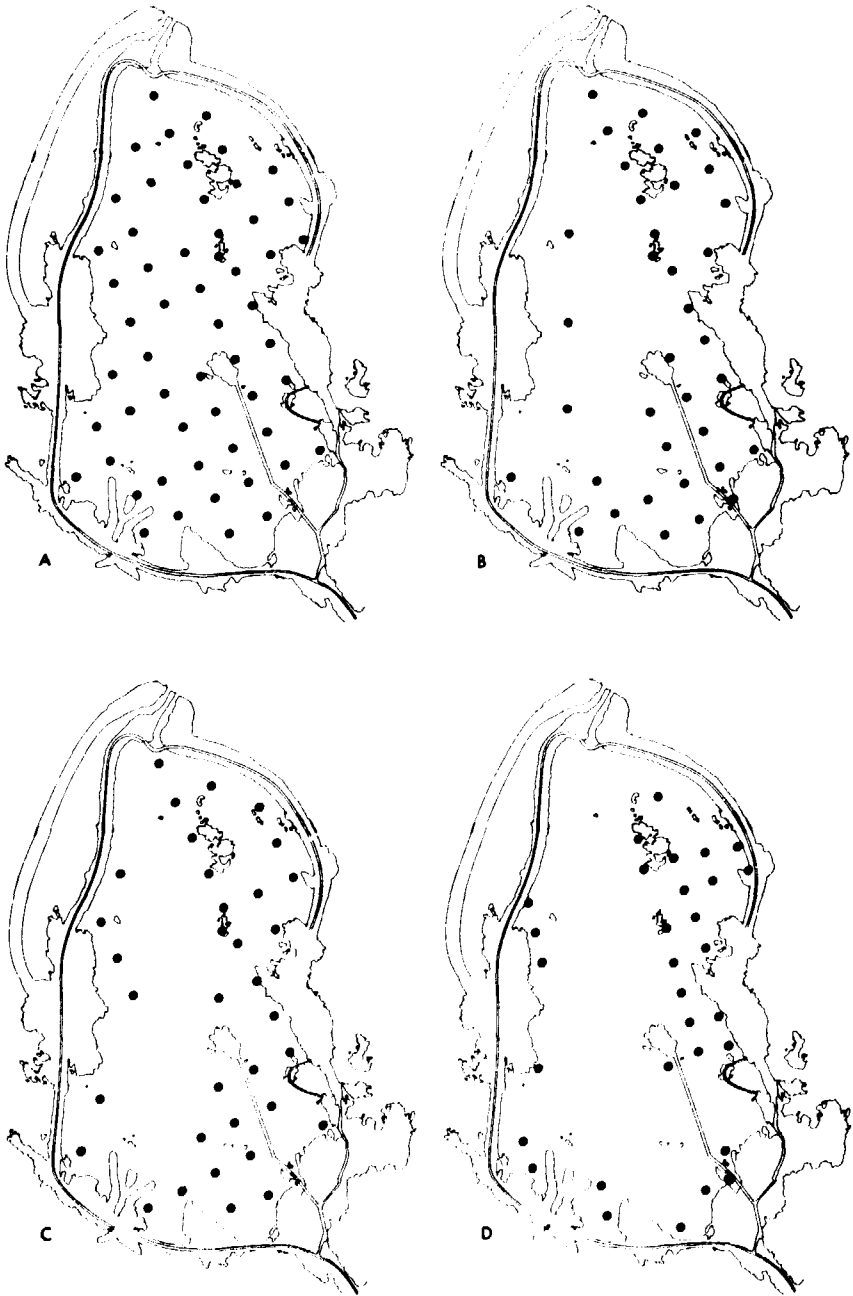
År	1974	1980	1981	1982	1983	1984	1986
Antal prov	5	75	32	73	74	41	93
<i>Chara spp</i>	20	84(50)	44(16)	51(15)	49(19)	24(40)	34(29)
<i>Tolypella nidifica</i>	40	7 (15)	3 (75)	33 (5)	5 (1)	.	.
<i>Cladophora fracta/glomerata</i>	.	25(17)	38(11)	84(54)	68(40)	41(19)	69(49)
<i>Cladophora rupestris</i>	.	9 (15)	9 (3)	.	19(31)	10(11)	.
<i>Enteromorpha spp</i>	.	11(22)	9 (3)	30 (5)	21 (5)	29 (6)	17 (8)
<i>Vaucheria cfr dichotoma</i>	20	.	3 (3)	10(16)	36 (8)	20(12)	31(33)
<i>Chorda filum</i>	20	.	.	.	.	.	.
<i>Fucus vesiculosus</i>	20	.	.	.	.	.	.
<i>Stictyosiphon tortilis</i>	.	1 (15)	.	.	.	.	.
<i>Ceramium tenuicorne</i>	20	40(15)	38 (4)	23 (4)	56 (6)	17(12)	62 (9)
<i>Furcellaria fastigiata</i>	20	1 (3)	.	3 (1)	1 (1)	.	.
<i>Polysiphonia sp</i>	20	.	.	.	.	.	.
<i>Drepanocladus aduncus</i>	.	1 (38)	9 (7)	10 (5)	4 (2)	2 (2)	2 (4)
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	40	9 (22)	22(15)	18(11)	34(19)	15(19)	14(17)
<i>Myriophyllum spicatum</i>	20	64(13)	75 (4)	22(10)	37(13)	32(31)	37(29)
<i>Potamogeton filiformis</i>	60	15(29)	28(12)	15(12)	16(11)	7 (29)	2 (7)
<i>Potamogeton pectinatus</i>	40	77(29)	72(23)	55(33)	66(27)	44(51)	25(27)
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	60	35(12)	41 (6)	4 (9)	11(36)	5 (96)	.
<i>Ranunculus baudotii</i>	40	8 (7)	3 (3)	3 (3)	4 (2)	.	.
<i>Ruppia spiralis</i>	.	1 (3)	.	.	1 (50)	2 (39)	.
<i>Zannichellia palustris</i>	20	3 (21)	3 (3)	16 (1)	32(12)	20 (7)	23(12)

Tabell 10. Sammanställning över antal prov och fynd av olika arter fördelade på djup vid undersökningen av bottenvegetationen i Biotestsjön 1986. Provtagning med Ekmanhuggare. Jfr tabell 15.

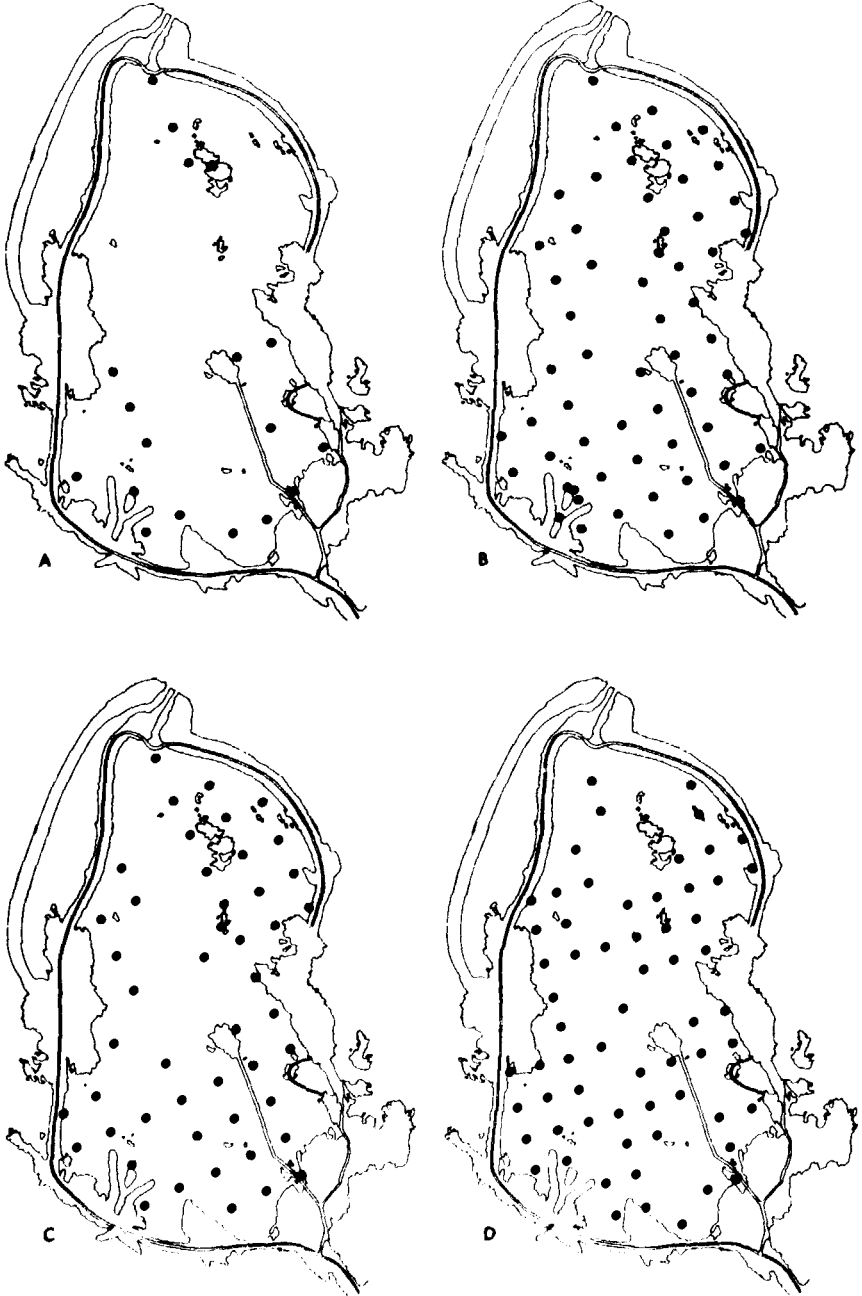
Djup, m	1	2	3	4	5
<i>Chara spp</i>	11	7	11	9	-
<i>Cladophora fracta/glomerata</i>	15	11	18	17	4
<i>Cladophora rupestris</i>	-	-	3	-	-
<i>Enteromorpha spp</i>	7	4	9	2	-
<i>Vaucheria cfr dichotoma</i>	2	2	9	15	1
<i>Ceramium tenuicorne</i>	13	9	17	17	3
<i>Polysiphonia sp</i>	-	-	-	1	-
<i>Drepanocladus aduncus</i>	-	-	2	-	-
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	1	2	6	4	-
<i>Myriophyllum spicatum</i>	9	5	14	6	-
<i>Potamogeton filiformis</i>	1	-	1	-	-
<i>Potamogeton pectinatus</i>	8	3	7	5	-
<i>Zannichellia palustris</i>	4	7	8	3	-
Tomma prov	1	1	-	4	6
Antal prov	19	12	24	26	12

Figur 8 - 14. Utbredningen 1980 (A), 1982 (B), 1983 (C) och 1986 (D) av några av Biotestsjöns arter med tydliga förändringar.

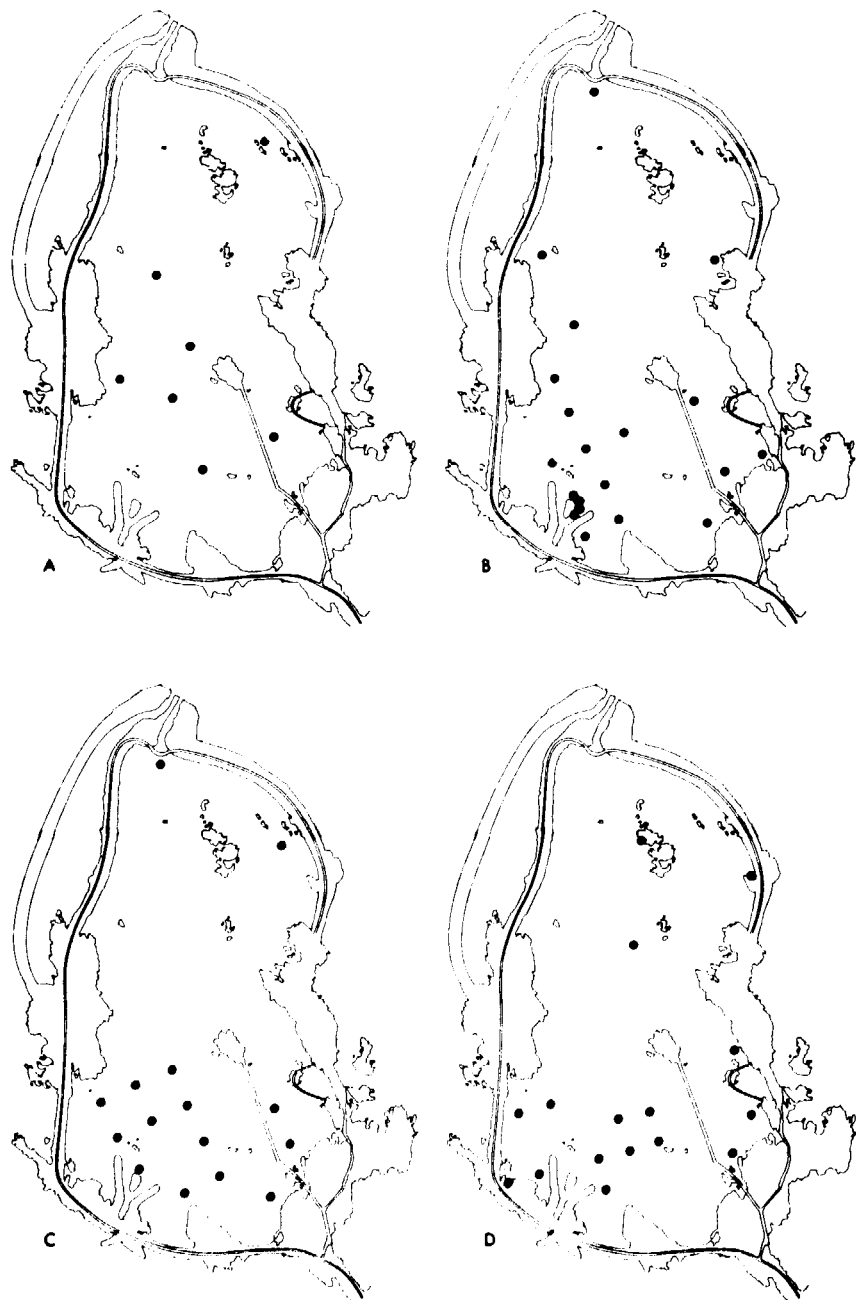
Figur 8. *Chara* spp.



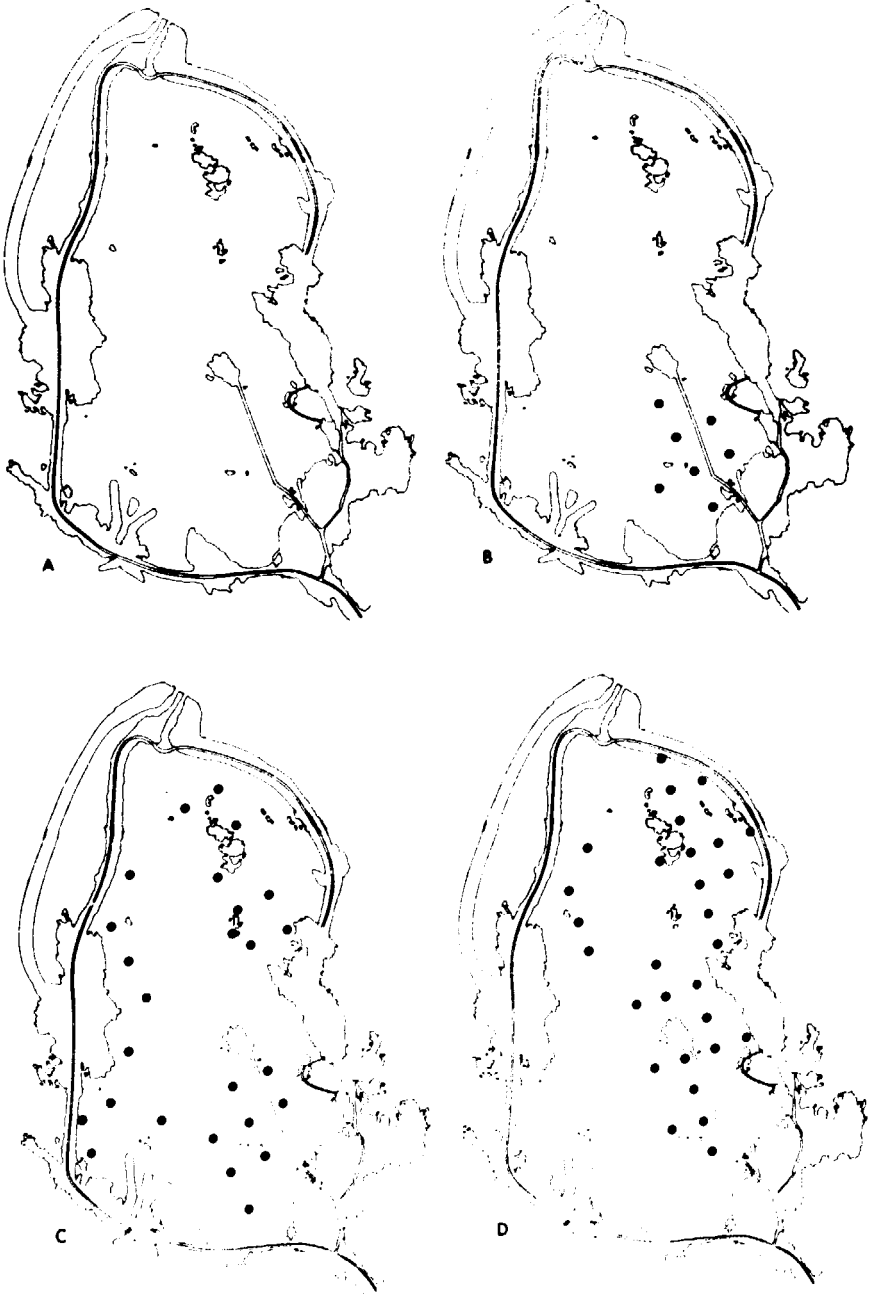
Figur 9. *Cladophora glomerata/fracta*



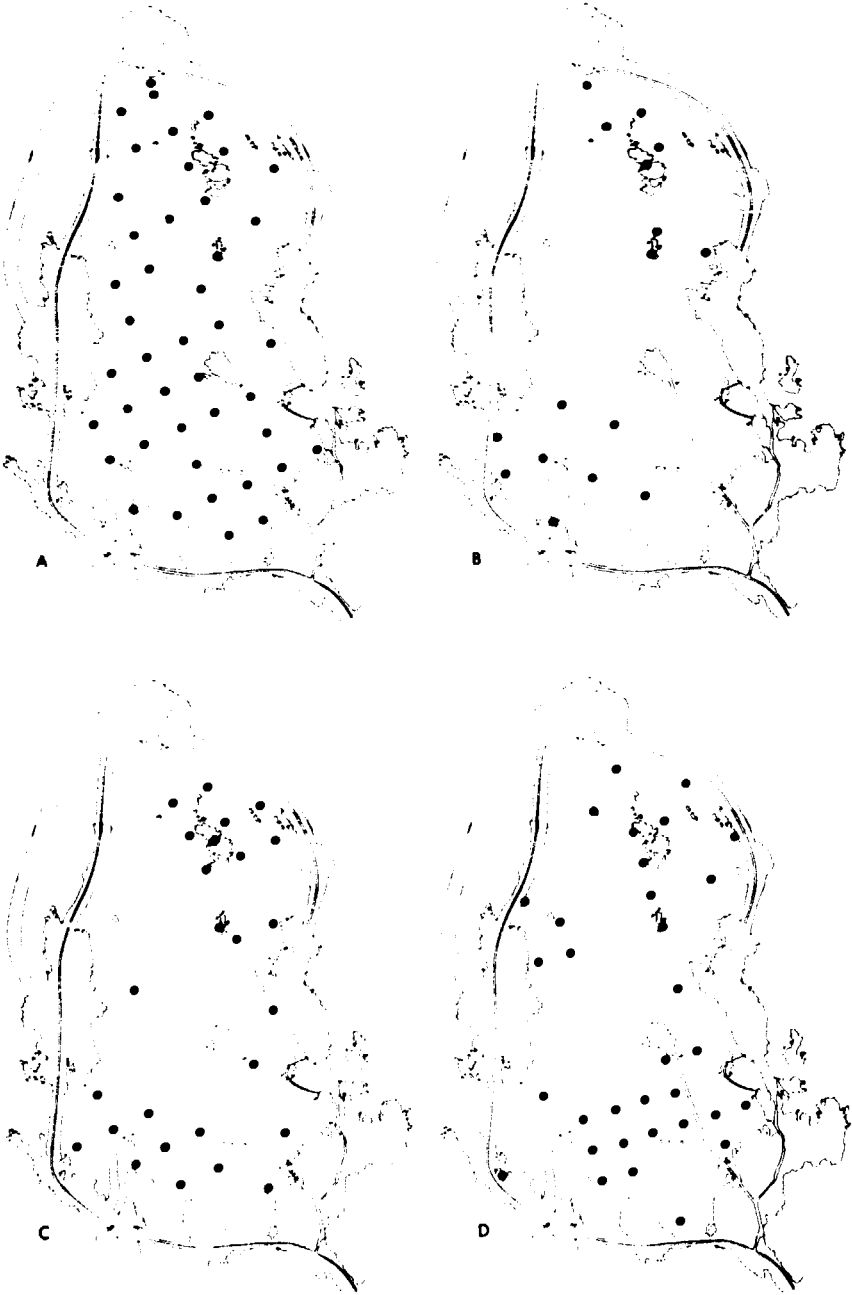
Figur 10. *Enteromorpha* spp.



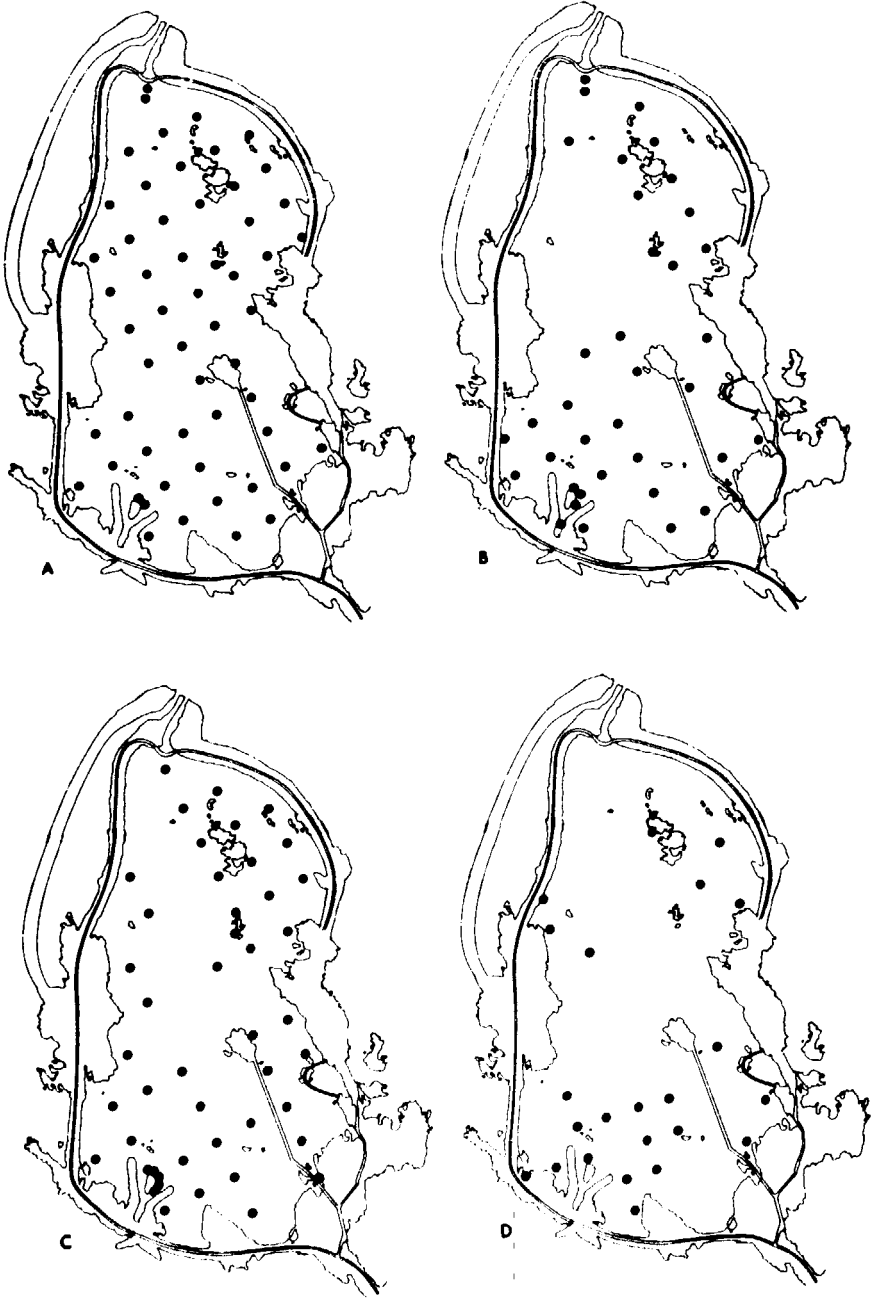
Figur 11. *Vaucheria* cfr. *dichotoma*



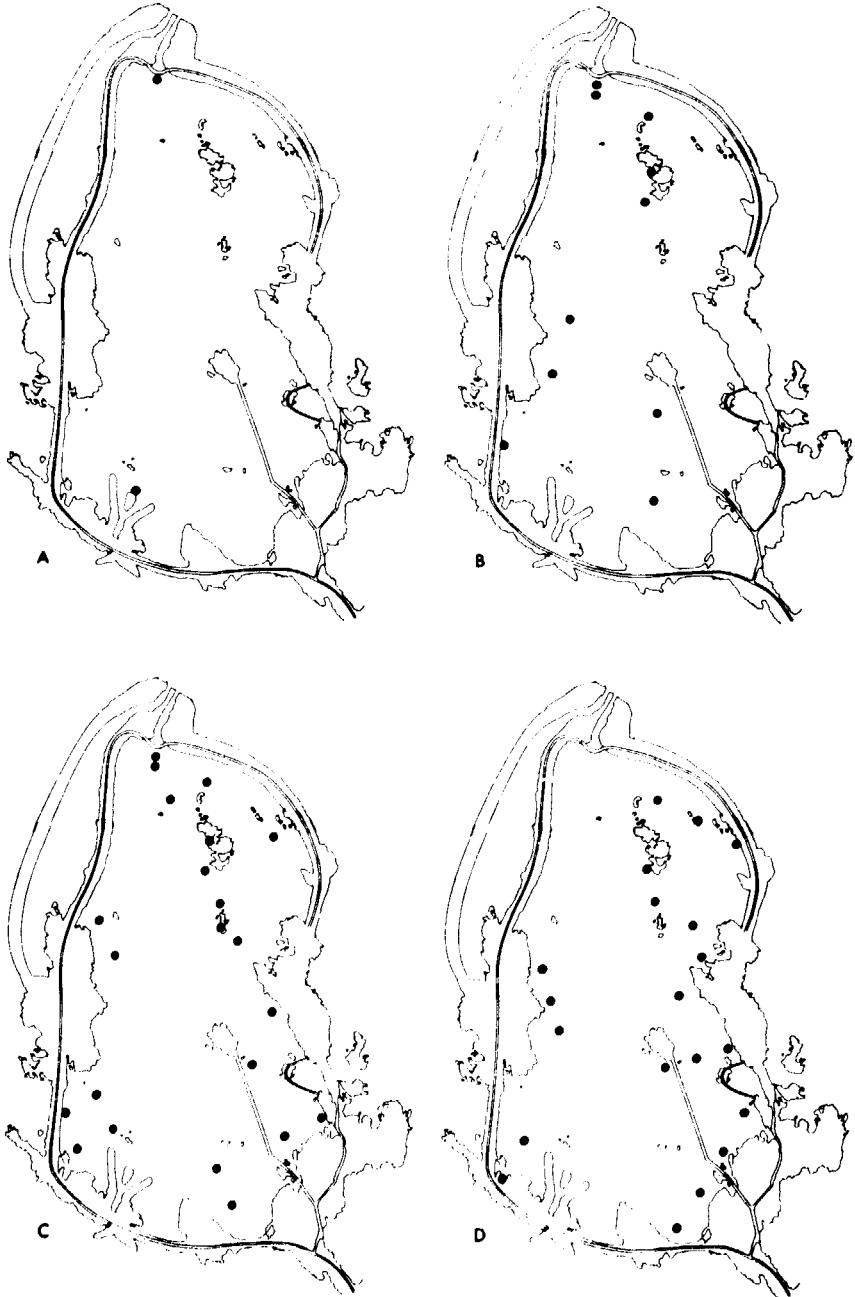
Figur 12. *Myriophyllum spicatum*



Figur 13. *Potamogeton pectinatus*



Figur 14. *Zannichellia palustris*



Vegetationens dynamik 1980-1986

En indelning av Biotestsjön i mer eller mindre enhetliga områden är angeläget om man t ex vill beräkna produktionen i olika delar av sjön. Med hjälp av en rad parametrar, som mikroalgernas biomassa och diverse miljöfaktorer, har Snoeijs (1985, 1986) gjort en indelning i områden med t ex olika djup, vattenströmning och bottenförhållanden. Denna indelning lägger dock inte tyngdpunkten på växterna, även om områdenas förhållanden givetvis ger upphov till skillnader i vegetationen. För att se om det överhuvudtaget går att indela sjön i olika områden, följa förändringar hos dessa över tiden samt få ett underlag för produktionsuppskattningar har vi gjort ett indelningsförslag med den makroskopiska vegetationen som grund.

Metodik

För detta ändamål har vi valt att använda datorprogrammet Twinspan (Hill 1979). Twinspan (Two Way INdicator SPecies ANalysis) är en multivariat klassifikationsmetod (se t ex Jongman m fl 1987). Den jämför alla provpunkterna baserat på artsammansättning och mängdförhållanden, räknar ut likhetsindex och sorterar punkterna efter störst likhet. Därefter gör den på liknande sätt beträffande arterna. Som resultat erhålls en provpunkt / art-matris.

Materialet delas upprepade gånger i två delar, dikotom uppdelning, både beträffande provpunkter och arter, varvid ett antal mer eller mindre närstående grupper erhålls. För denna studie har tre delningar valts, vilket ger åtta grupper. Denna databearbetning har dock endast givit sju grupper, beroende på att Twinspan vid andra delningen av provpunkterna bara hade en punkt i en grupp, vilken vid tredje tudelningen inte kunde delas upp vidare. Varje provpunkt ges således en grupptillhörighet som kan markeras på en karta, och man får på så sätt områden i sjön vars förändring kan studeras (fig 15) och vars utbredning kan vara en grund för produktionsuppskattningar.

För att kunna studera de olika områdenas förändringar men även enskilda provpunkters grupptillhörighet under de fyra studerade åren (1980, 1982, 1983 och 1986) har dessa bearbetats samtidigt.

Eftersom olika provtagningsmetodik använts under de olika åren har vissa antagningar och förenklingar gjorts. Varje arts andel i proven har bedömts enligt fyra klasser och klassernas mittvärde har använts vid beräkningarna (3, 15, 38 och 75%). Vegetationsmängden i varje prov har också bedömts enligt fyra klasser och för att korrelera dessa med viktvärden har vi använt viktmedelvärdena för 1986, eftersom vi då har exakta Ekmanprover för hela sjön. Dessa medelvärden är för klass 1=0,05, för klass 2=0,46, för klass 3=8,6 och för klass 4=76,2 g/m². Med dessa data kan viktvärden för varje enskild art erhållas.

Resultat

De områden som kunnat ritas ut efter bearbetningen med Twinspan framgår av fig 15. Ofta blandas närstående grupper varför vi här slagit samman dem enligt tabell 11. Där framgår även provpunkternas fördelning under de olika åren.

Tabell 11. Provpunkternas fördelning på de olika grupperna enligt Twinspan samt våra områdesavgränsningar.

Område	Twinspangrupp	1980	1982	1983	1986	Provpunkt/grupp
A	1	0	1	9	33	43
A	2	8	53	26	35	122
B	3	16	0	9	0	25
B	4	42	6	8	7	63
C	5	3	2	9	2	16
C	6	3	0	3	0	6
D	7	1	0	0	0	1
E	tomma prov	0	5+3	9	16	32
Summa provpunkter		73	70	73	93	308

Man skall vara medveten om att antalet provpunkter på grund av ändrat rutnät var större 1986 liksom att provtagningsmetodikerna var annorlunda. Detta och den ofta mosaikartade vegetationen samt att det inte är exakt samma provpunkter som analyserats de olika åren gör att man inte bör dra alltför långtgående slutsatser. Några resultat kan dock framhållas.

* 1980, det år Forsmarks kärnkraftverk togs i drift, dominerades Biotestsjön av område B (där de flesta provpunkterna tillhör grupp 4, enligt tabell 10). Senare, när verket varit igång en tid, försköts de dominerande områdena mot A (där knappt hälften av provpunkterna 1986 tillhör grupp 1). Alltså en markant successiv förskjutning från grupp 4 1980, via grupp 2, till grupp 1 1986.

Viktiga arter i grupp 4 som förändrats är *Chara baltica*, *C. tomentosa*, *Myriophyllum spicatum* och *Potamogeton pectinatus*, grönstråfse, rödstråfse, axslinga och borstnate, som alla minskat. Viktiga arter i grupp 2 är *Potamogeton filiformis*, trådnate, som minskat och *Tolypella nidifica*, havsslinke, som först ökat och sedan minskat. I grupp 1 har *Vaucheria sp.* och *Zannichellia palustris*, svartskinna och liten hårsärv, ökat medan *Callitriche hermaphroditica*, höstlånke, först ökat och sedan minskat. Dessa viktiga arter som markant har minskat eller ökat under åren kan alltså ligga bakom en stor del av den förändring av områdena som kan iakttas.

* Utvecklingen av det tilltagande vegetationslösa området är självfallet tydligt då det är provpunkter där inga arter förekom. 1982 ingår tre punkter med växtfragment, vilka i tabell 10 förs till nollproven (anges med 5+3 prov).

* Inloppet och utloppet är avvikande områden vars exakta storlek inte framgår på grund av det glesa rutnätet. År 1986 togs heller inga särskilda prover i dessa områden. De övriga åren uppvisar inloppet, där flera prov tagits (1982 ej lika många), stor variation i provpunkternas grupptillhörighet. År 1980 noterades där Twin-spangrupperna 2, 4, 5, 6; 1982 grupperna 2, 4, 5 och 1983 grupperna 1, 4, 5, 6.

* Generellt uppvisar sjöns områden en tilltagande heterogenitet, med speciellt stor variation 1983.

* Områdena uppvisar en viss orientering i sjöns längdriktning (N/S), alltså samma riktning som vattenströmmen.

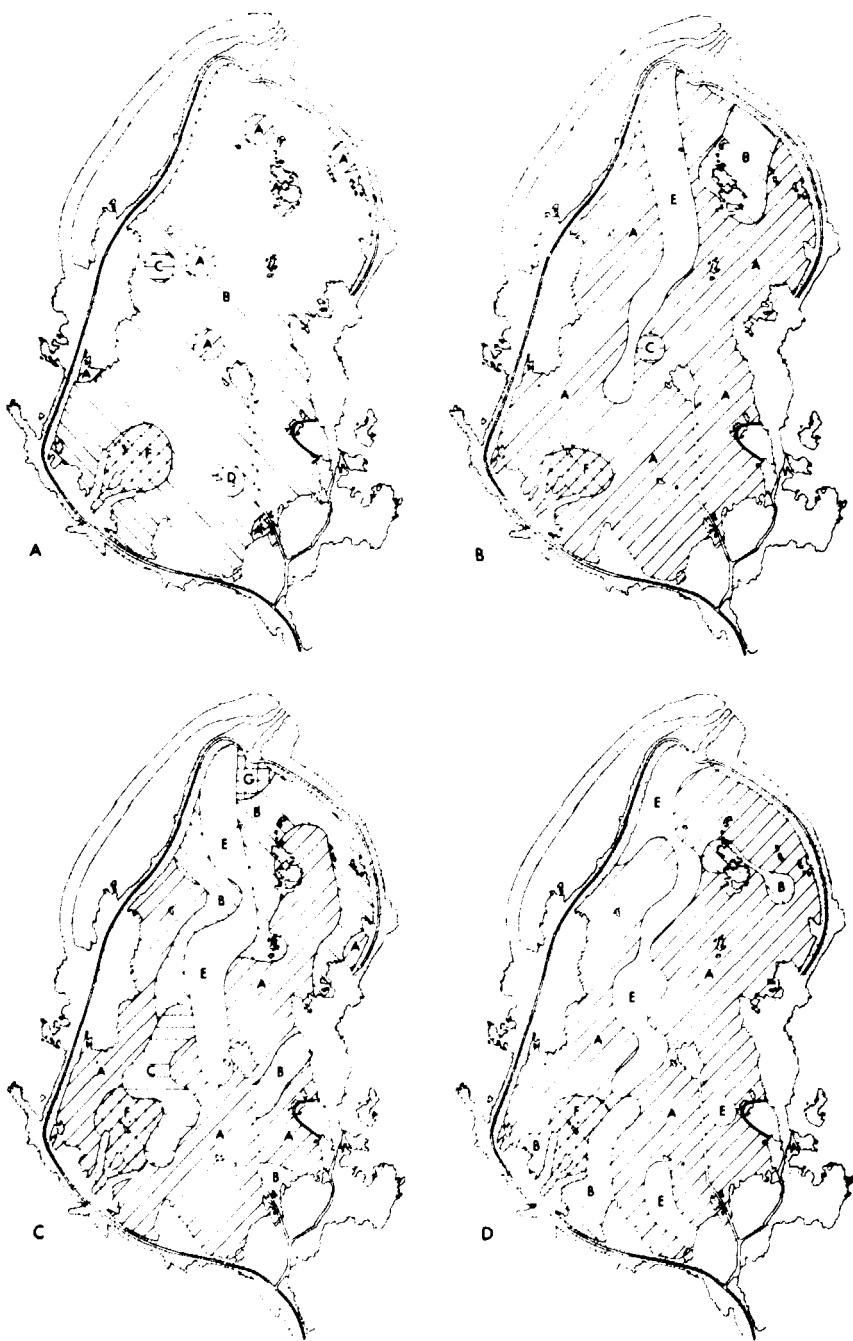
* Man skulle kunnat förvänta sig att området öster om vägen ut till ön blivit alltmer enhetligt med de skyddade förhållanden som där råder men så är inte fallet. Bland annat har det även här börjat utbildas vegetationsfria partier.

* Arternas fördelning på olika Twinspangrupper, om de förekommer i få eller många grupper, det vill säga har en begränsad eller vid utbredning, var de har sin tyngdpunkt och var de inte alls förekommer är av intresse och framgår av tabell 12.

I första gruppen återfinns arter som har huvuddelen av sin förekomst inom en begränsad yta även om en del av dem finns spridda i flertalet områden. I den andra gruppen finns arter som inte är särskilt specifika beträffande var de förekommer i sjön, det är få områden där de saknas helt. Den tredje gruppen är arter med få förekomster och liten andel av proven. De spelar alltså liten roll för sjöns vegetationsdynamik.

Det är således de två första grupperna som är de mest betydelsefulla. Sjöns mosaikartade förhållanden och relativt begränsade yta medverkar troligen till svårigheten att få fram tydliga grupperingar som man kan dra entydiga slutsatser ur. Det kan även vara så att akvatiska miljöer inte lika lätt låter sig indelas i tydliga vegetationssamhällen jämfört med terrestra områden. Den utjämnande effekt som vattnet har på olika miljöfaktorer kan spela en stor roll i sammanhanget.

* Det är också av intresse att notera vilka arter som har en särskilt tydlig eller begränsad utbredning och som därigenom kan vara viktiga indikatorer samtidigt som de har stor betydelse för den indelning i olika Twinspangrupper som skett, se tabell 13. Här framgår även de arter som har jämn utbredning över nästan hela sjön.



Figur 15. Områdesindelning av Biotestsjön 1980 (A), 1982 (B), 1983 (C) och 1986 (D) beräknad med hjälp av Twinspan.

Tabell 12. Arternas fördelning på olika Twinspangrupper efter tyngdpunkt, grupper utan förekomst samt totala antalet provpunkter med fynd under de fyra åren av varje art. Arterna är grupperade i tre grupper efter följande kriterier: tyngdpunkt i några få områden, tyngdpunkt i fler än två områden samt arter utan tyngdpunkt. Inom dessa grupper är arterna sorterade efter Twinspan-grupp. Artnamnen är förkortade.

Art	Dominerar	Förekommer	Saknas	Antal fynd
Vauc sp	1	234	567	61
Zann pal	12	34	567	57
Drep adu	2	134	567	13
Ente ahl	2	345	167	39
Toly nid	2	134	567	33
Pota fil	23	14	57	36
Pota per	3	1245	67	35
Ranu bau	3	124	567	11
Char bal	4	12356	7	54
Ente int	4	1235	67	31
Char tom	47	236	15	19
Clad rup	56	24	137	21
Call her	123	4	567	58
Char asp	1234	5	67	47
Char fra	1234	56	7	121
Clad glo	1234	5	67	194
Myri spi	234	156	7	124
Pota pec	2345	16	7	165
Cera ten	123456	-	7	146
Poly sp	-	1	234567	1
Rupp spi	-	24	13567	2
Fucu ves	-	3	124567	1
Furc fas	-	3	124567	1
Stic tor	-	3	124567	1

Tabell 13. Arter med tydlig eller begränsad utbredning med betydelse för indelningen i olika Twinspangrupper samt arter med jämn utbredning över nästan hela sjön. Hela materialet 1980-1986 har studerats. Artnamnen är förkortade.

Begränsad utbredning		Jämn utbredning
Call her	Clad rup	Cera ten
Char asp	Myri spi	Clad glo
Char bal	Pota per	Pota pec
Char fra	Toly nid	
Char tom	Vauc sp	

Resultat, utanför Biotestsjön

Utanför Biotestsjön togs prov med hjälp av Lutherräfsa år 1974 och 1985 (fig 5A, 5C, tabell 14), dels utanför själva sjön, dels söder om ön Länsman, som ligger ett par km nordost om Biotestsjön. 1974 togs endast 4 prov på dessa platser, huvudsakligen på grunda bottnar, varför de två undersökningarna inte är helt jämförbara, varken sinsemellan eller med undersökningarna inne i sjön. Vissa detaljer är dock ändå värda att notera.

Vegetationen var sparsam både vad gäller antalet arter och mängden individ jämfört med Biotestsjön. En bidragande orsak till detta kan vara en eventuellt större frekvens av grunda mjukbottnar i själva Biotestsjön. På sikt tilltar dessa genom ökad sedimentation p g a invallningen, varför skillnaden troligen kommer att bli alltmer accentuerad. En indikation på att andelen prov på mjukbotten spelar in fås av 1974 års undersökning, som koncentrerades till just sådana bottnar. Antalet arter var då betydligt högre än på de efter rutnät utlagda provpunkterna 1985 (15 mot 9) trots det färre antalet prov.

Tabell 14. Arternas förekomst vid undersökningarna av bottenvegetationen utanför Biotestsjön 1974 och 1985. Provtagning med Lutherräfsa. Förekomsten anges i procent av totala antalet prov.

År	1974	1985
Antal prov	4	21
<i>Chara aspera</i>	75	.
<i>Chara fragilis</i>	100	.
<i>Chara tomentosa</i>	50	.
<i>Tolypella nidifica</i>	75	.
<i>Cladophora fracta/glomerata</i>	.	48
<i>Enteromorpha intestinalis</i>	50	24
<i>Chorda filum</i>	25	.
<i>Fucus vesiculosus</i>	50	14
<i>Ceramium tenuicorne</i>	100	48
<i>Furcellaria fastigiata</i>	75	5
<i>Polysiphonia sp</i>	75	10
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	.	5
<i>Myriophyllum spicatum</i>	25	.
<i>Potamogeton filiformis</i>	25	.
<i>Potamogeton pectinatus</i>	25	10
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	25	.
<i>Ruppia spiralis</i>	.	24
<i>Zannichellia palustris</i>	25	.

Bottnen bestod huvudsakligen av grova block med *Cladophora glomerata*, grönslick, och däri insnärjd *Ceramium tenuicorne*, ullsleke. På de grundare bottenarna runt Biotestsjön växte en fanerogamvegetation, dominerad av *Potamogeton pectinatus* och *Ruppia spiralis*, borstnate och skruvning. På djup mellan fem och sju meter förekom *Fucus vesiculosus* och *Polysiphonia sp.*, blåstång och fjäderslick. På större djup var bottenarna vegetationslösa, med undantag av sparsamt förekommande *Furcellaria fastigiata*, gaffeltång. Vid Länsman växte främst *Myriophyllum spicatum*, axslinga, och *Ruppia spiralis* mellan blocken och på djup ner mot fem meter frodiga bestånd av *Fucus vesiculosus*.

Diskussion

Många av arterna uppträdde på olika sätt inom och utom Biotestsjön. Som exempel kan nämnas *Ruppia spiralis*, skruvning, som 1985 var relativt vanlig ner till fyra meter på mjukbottenar tillsammans med *Potamogeton pectinatus*, borstnate. Inne i Biotestsjön har *Ruppia* varit ovanlig. *Furcellaria fastigiata*, gaffeltång, som betraktas som en djupvattensart (se Renström m fl 1985), var 1974 rikt företrädd på de grunda bottenarna men hittades 1985 endast på tio meters djup. Detsamma gäller *Fucus vesiculosus* och *Polysiphonia sp.*, blåstång och fjäderslick, som 1985 dominerade bottenarna på fem till sju meters djup. Dessa tre arter saknades nästan helt inne i sjön.

Även *Vaucheria sp.*, svartskinna, är värd att nämnas. Den har inte påträffats på några provpunkter utanför Biotestsjön (även om den förekommit där), medan den blivit allt vanligare inne i sjön. Det kan jämföras med två andra ettåriga, näringsgynnade arter, *Ceramium tenuicorne* och *Enteromorpha intestinalis*, ullsleke och enkel tarmtång, som också ökat inne i sjön men dessutom varit vanliga utanför vid båda undersökningarna. Det indikerar att det uppvärmda biotestvattnet varit av avgörande betydelse för ökningen av *Vaucheria*.

Vegetationsskillnaden mellan Biotestsjön och dess omgivning har alltså flera orsaker, däribland frekvensen av mjukbottenavsnitt, djupet och temperaturen. De flesta arter når utanför sjön ett djup av sex till sju meter (tabell 15, jfr tabell 10), varför det inte kan vara djupet i sig som orsakar det vegetationsfria partiet inne i Biotestsjön, där maximala djupet är cirka fem meter. Den troligaste anledningen till den minskade djupamplituden inne i sjön är temperaturförhöjningen i kombination med en minskad ljustransmission och kraftig vattenström. Detta är också orsaken till att de större brun- och rödalger inte längre förmår växa i sjön.

Tabell 15. Sammanställning över antal prov och fynd av olika arter fördelade på djup vid undersökningen av bottenvegetationen utanför Biotestsjön 1985. Provtagning med Lutherräfsa.

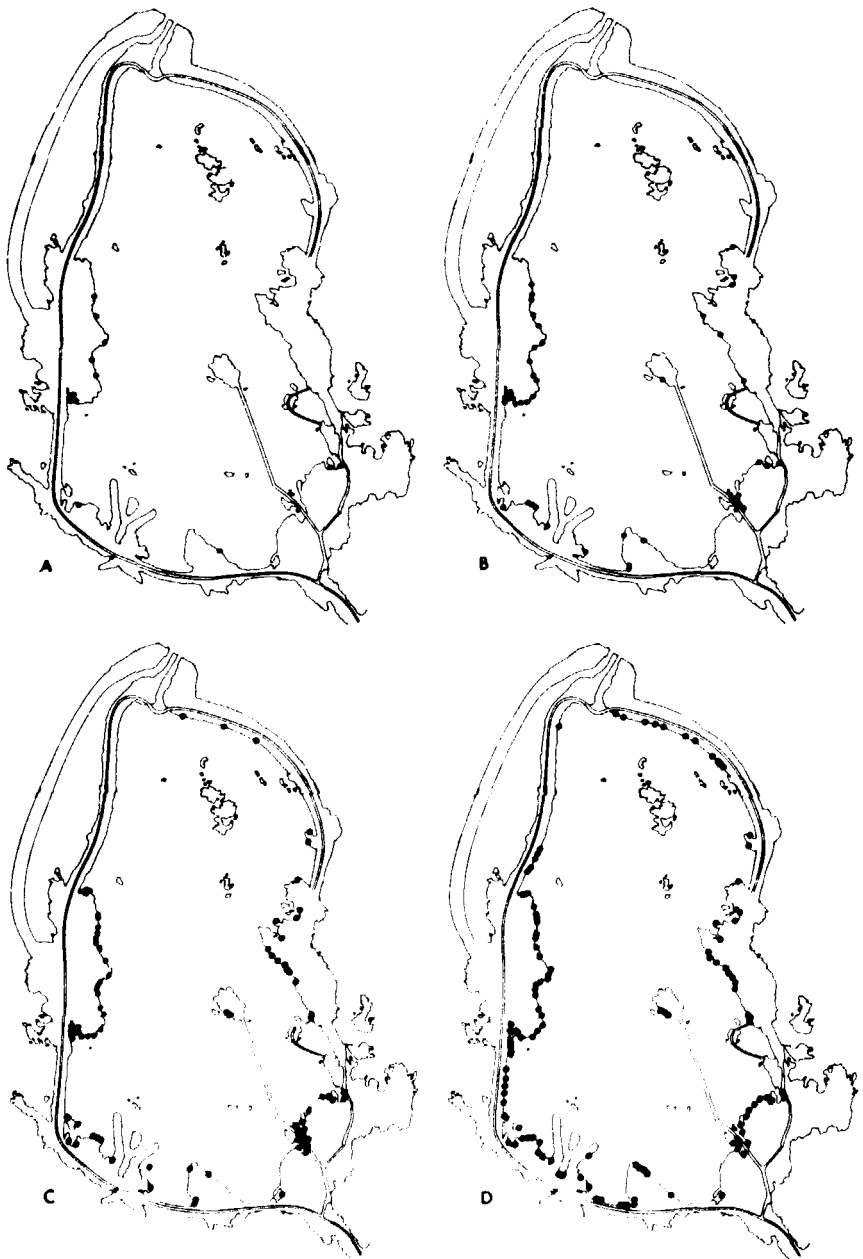
Djup, m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Cladophora</i>	-	3	1	3	1	1	1	-	-	-	-	-
<i>Enteromorpha</i>	-	3	1	2	1	2	1	-	-	-	-	-
<i>Fucus</i>	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-
<i>Ceramium</i>	-	3	1	2	1	2	1	-	-	-	-	-
<i>Furcellaria</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Polysiphonia</i>	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>Callitriche</i>	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Potamogeton</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ruppia</i>	-	1	1	2	-	-	1	-	-	-	-	-
Tomma prov	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	1	1
Antal prov	-	3	1	4	1	2	4	1	-	3	1	1

4. Strandvegetationen

Metodik

Strändernas vegetation har undersökts beträffande artinnehåll och de dominerande arternas utbredning. 1974 gjordes en första dokumentation av vegetationen inom stora delar av Öregrundsgrepen (fig 5A). Detta för att innan varmvattenutsläppen kommit igång dokumentera dels området som påverkas av utsläppen, dels opåverkade delar som kan användas som referensområden. Två metoder användes, en översiktlig inventering och en mera detaljerad med hjälp av bandprofiler. Vid den översiktliga inventeringen delades stränderna upp i homogena vegetationsavsnitt. Arternas relativa frekvens angavs med en tregradig skala och avgränsade vegetationsbestånd karterades. Fem bandprofiler inventerades på lokaler med olika exponering för de kommande varmvattenutsläppen. Analysen utfördes som en serie rutanalyser längs en linje från land ut i vattnet. Lokalerna valdes så att andra faktorer, förutom den förhöjda vattentemperaturen, skulle påverka utvärderingen så lite som möjligt (Wigren & Svensson 1974).

Från och med 1980 har arbetet med strandvegetationen enbart utförts runt själva Biotestsjön. Den största dynamiken uppvisade redan tidigt vassarna, bestående av *Phragmites communis*, *Scirpus tabernaemontani* och *S. maritimus*, bladvass, blåsäv och havssäv. Då deras expansion även har en avgörande betydelse för den övriga strandvegetationen koncentrerades arbetet kring dem. Deras utbredning har följts genom återkommande karteringar och upprepad fotodokumentation. Vid karteringen har nytillkomna bestånd noterats och deras längd (längs stranden) och bredd (tvärs stranden) mätts upp med en noggrannhet av 0,1 m.



Figur 16. Vassvegetationen runt Biotestsjön 1974 (A), 1980 (B), 1982 (C) och 1985 (D). Varje bestånd markeras oavsett storlek med en punkt.

Resultat

Som framgår av tabell 16 och fig 16 har vassvegetationens expansion i Biotestsjön varit mycket kraftig. Ökningen mellan 1974 och 1980 kan ses som en effekt av invallningen. Därefter tillkommer påverkan av varmvattenutsläppen och ökad sedimentation. *Phragmites communis*, bladvass, har kraftigt ökat sin utbredning utom vid det senaste undersöknings-tillfället. En minskning i ökningstakten kunde då skönjas. De båda *Scirpus*-arterna ökade till en början också kraftigt men deras ökningstakt avtog tidigare än bladvassens. Från 1982 har de i stort sett inte ökat alls.

Tabell 16. Vassvegetationens utbredning i Biotestsjön 1974-1985, totalt och fördelat på de dominerande arterna. Resultatet anges i m².

År	1974	1980	1982	1984	1985
<i>Phragmites communis</i>	712	2.960	5.420	8.960	10.237
<i>Scirpus maritimus</i>	5	229	351	390	333
<i>Scirpus tabernaemontani</i>	5	236	373	390	404
Blandbestånd	0	0	28	114	83
Total areal, ca	720	3.420	6.170	9.850	11.060

Ökningen har skett dels genom tillväxt av redan etablerade bestånd, dels genom nyetablering. Mellan 1974 och 1980 förekom en kraftig nyetablering på de naturliga stränderna (fig 16). Denna har sedan fortgått men avtagit efterhand som de flesta lämpliga strandavsnitt koloniserats. Där vallarna består av sprängsten och schaktmassor noterades inga bestånd förrän 1982. Då växte tre vassruggar på den ganska skyddade vallen i nordost. 1984 hade även bestånd etablerats på vallarna i sydväst och vid den senaste kontrollen 1985 fanns bestånd runt i stort sett hela sjön. Endast vägen ut till ön, bestående av grov sprängsten, var ännu fri från vegetation.

Som ett exempel på vad som hänt med strandarterna runt Biotestsjön, kan vi peka på ön Höggrunden. 1974 fanns här en artrik strandäng, vilken noggrant inventerades längs en bandprofil. Ängen dominerades av *Agrostis stolonifera**, krypven, och strandängsarter som *Angelica silvestris*, *Aster tripolium**, *Caltha palustris**, *Centaureum littorale*, *Cirsium palustre*.

Figur 17. Utvecklingen från örtrik strandäng till kraftigt igenväxt vassvik på Höggrunden i Biotestsjön 1974, 1980, 1982 och 1984. Förutom igenväxningen, kan man även lägga märke till den mer direkta mänskliga påverkan i form av den vägbank som med osviklig precision lades just över sjöns enda välutvecklade strandäng.





1982



1984

Dactylorhiza incarnata, *Glaux maritima**, *Lysimachia vulgaris**, *Lythrum salicaria**, *Mentha aquatica**, *Ophioglossum vulgatum*, *Parnassia palustris*, *Pedicularis palustris*, *Plantago maritima**, *Polygala amarella*, *Potentilla anserina*, *Samolus valerandi**, *Selinum carvifolia*, *Thalictrum flavum**, *Triglochin maritimum* och *Valeriana salina* (strätta, strandaster, kabbeleka, kust-arun, kärrtistel, ängsnycklar, strandkrypa, strandlysing, fackelblomster, vattenmynta, ormtunga, slätterblomma, kärrspira, strandkämpar, rosettjungfrulin, gåsört, bunge, krusfrö, ängsruta, havssälting och strandvänderot). År 1982 var viken igenväxt av *Phragmites communis* (vass). Där vassen var glesare växte *Juncus articulatus*, *J. gerardii*, *Scirpus tabernaemontani* och *S. uniglumis*, rylltåg, salttåg, blåsäv och agnsäv. Enstaka exemplar av strandängsarterna fanns kvar, de har markerats med * i texten ovan. Fläckvis var *Mentha aquatica* och *Agrostis stolonifera* vanliga. *Atriplex patula* (vägmålla) hade kommit in, troligen från vägen. 1984 var förutom gräsen, säven och tågen endast *Aster tripolium*, *Glaux maritima*, *Lysimachia vulgaris*, *Mentha aquatica*, *Samolus valerandi*, *Thalictrum flavum* och *Triglochin maritimum* kvar, ett år senare ytterligare utarmat till enstaka exemplar av *Lysimachia*, *Mentha*, *Samolus*, *Thalictrum* och *Triglochin*. Strandängen hade på 12 år förvandlats till en helt igenväxt vassvik. Utvecklingen av viken visas i figur 17. Där framgår att någon återupprepad inventering av Biotestsjöns enda strandäng tyvärr inte kunde göras, eftersom dragningen av vägen ut till ön ändrades från de ursprungliga planerna, så att vägbanken kom att läggas inte bara över strandängen, utan även just över bandprofilen.

Diskussion

Invallningen har troligen haft en avgörande betydelse för vassarnas möjlighet att etablera sig i sjön. Härigenom har vågexponeringen minskat och finkorniga sediment börjat ansamlas på vissa strandavsnitt. På dessa har sedan strandvegetationen etablerats varvid sedimentationen ytterligare accelererat. Varmvattnet påverkar processen genom en förlängd växtsäsong (Andersson & Karås 1979) och genom att förhindra isläggning. Isen kan annars nöta bort mycket av den strandnära vegetationen. *Scirpus tabernaemontani* hinner inte etablera ordentliga bestånd när den årligen bryts loss av isen och *Phragmites communis* har svårt att sprida sig längs grunda stränder på grund av frostfenomen och iserosion (Lundegårdh-Ericson 1972). Sedan varmvattenutsläppen började har därför igenväxningsprocessen gått snabbare än normalt.

Igenväxningen kommer att fortgå, om än i minskande takt, tills alla lämpliga avsnitt är fullt utnyttjade. I ett av vassar fullkoloniserat utsläppsområde sker ingen eller mycket långsam tillväxt av strandvegetationen (Renström 1986).

5. Referenser

- Andersson, J. & Jarås, P. 1979: Bentiska alger och fanerogamer i en varm-vattenpåverkad östersjövik. SNV PM 1168.
- Boynton, W., Kemp, W., Stevansson, J., Lubbers, L., Kaumeyer, K., Bunker, S., Staver, K. & Means, J. C. 1981: Structural and functional characteristics of brackish water macrofyte communities. *Estuaries* 4(3): 300-301. Univ. Maryland, Solomons.
- Corley, M., Grundwell, A., Düll, R., Hill, M., Smith, A. 1981: Mosses of Europe and the Azores, an annotated list of species, with synonymes from the recent literature. *J. Bryol.* 11: 609-689.
- du Rietz, G. 1950: Phytogeographical excursion to the maritime birch forest zone and the maritime forest limit in the outermost archipelago of Stockholm. 7th Int. Bot. Congr., Stockh., Excursion guide B1: 1-9.
- Eidler, L. & Wachenfeldt, T. von 1981: Marina alger, ekologi, dynamik och användning. Lund.
- Ericson, L. 1973: Vegetationen vid Gästrikerekusten. I: Skärgårdsnatur i Gästrikland: 4-76. Sandviken.
- Forsberg, C. 1965: Environmental conditions of Swedish charophytes. *Symb. Bot. Ups.* 18:4.
- Hasslow, O. 1931: Sveriges characeer. *Bot. Notiser* 1931: 63-136.
- Hill, M. 1979: *Twinspan*. New York.
- Hylander, N. 1953: *Nordisk kärlväxtflora* 1. Stockholm.
- Krok, T. & Almquist, S. 1969: *Svensk flora*. II. Kryptogamer. Stockholm.
- Jansson, A.-M. & Kautsky, N. 1977: Quantitative survey of hard bottom communities in a Baltic archipelago. I: Keegan, B. F. m fl (red): *Biology of Benthic organisms*: 359-366. London.
- Jansson, B.-O. & Wulff, F. 1977: Ecosystem analysis of a shallow sound in the northern Baltic - A joint study by the Askö group. *Contrib. Askö lab., Univ. Stockh.* 18.
- Jerling, L. & Lindhe, A. 1977: Vegetationens zonerings på mjukbottnar vid Askö, Trosa skärgård. *Svensk Bot. Tidskr.* 70: 303-307.
- Jongman, R., ter Braak, C. & van Tongeren, O. 1987: *Data analysis in community and landscape ecology*. Wageningen.

- Kautsky, H. 1984: Inventering av de grunda, vegetationstäckta bottarna inom det planerade marina naturreservatet Salvorev, Sandö bank och Kopparstenarna, maj-juni 1983. Askölab., Stockh. univ. (stencil).
- Kautsky, N., Kautsky, U., Jansson, B.-O. & Jansson, P. 1983: Marin inventering av bottenfauna och flora i fågel- och sälskyddsområdena vid Källskären och Vattungarna, Oxelösunds kommun, augusti 1982. Askölab., Stockh. univ. (stencil).
- Kautsky, N., Widbom, B. & Wulff, F. 1981: Vegetation, macrofauna and benthic meiofauna in the phytal zone of the archipelago of Luleå - Bothnian Bay. *Ophelia* 20(1): 53-77.
- Krusenstjerna, E. von 1945: Bladmossvegetation och bladmossflora i Uppsalatrakten. *Acta Phytogeogr. Suec.* 19.
- Lid, J. 1974: Norsk og svensk flora. Oslo.
- Lundegårdh-Ericson, C. 1972: Changes during four years in the aquatic macrovegetation in a flad in N Stockholm archipelago. *Svensk Bot. Tidskr.* 66: 207-225.
- Luther, H. 1951: Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland. I. Allgemeiner Teil. *Acta bot. fenn.* 49: 1-231.
- Nyquist, B. 1987: Undervattensvegetationens förändringar mellan 1979 och 1984 i Biotestsjön, Forsmark. SNV PM 3359.
- Renström, S. 1986: Övertvattensvegetationen vid Hamnefjärden, Oskarshamns kärnkraftverk, 1985. SNV, Miljökontrollab., Kustvatteneh. (stencil).
- Renström, S., Svensson, R. & Wigren-Svensson, M. 1985: Förändringar av vegetationen i Biotestsjön, Forsmarks kärnkraftverk, 1974-1983. SNV PM 1974.
- Renström, S., Svensson, R. & Wigren-Svensson, M. 1990: Vegetationen vid Biotestsjön, Forsmarks kärnkraftverk, 1984-1986. SNV Rapport 3735.
- Rosenberg, R. 1982: Havets liv och miljö. Stockholm.
- Skytte, M., Krusenstjerna, E. von & Waern, M. 1978: Vår flora i färg. Kryptogamer. Uppsala.
- SMHI 1983: Internal report on the data collecting system and hydrographic description of the Biotest Basin. Sveriges Met. Hydr. Inst., Stockh. (stencil).

- Snoeijs, P. 1985: Microphytobentic biomass and environmental data in and around the Forsmark Biotest Basin, 1983-1985. Medd. Växtbiol. inst., Upps. univ. (stencil).
- Snoeijs, P. 1986: Primary production of microphytobenthos on rocky substrates in the Forsmark biotest basin, 1984. SNV PM 3216.
- Snoeijs, P. 1987: Epilithic Algal Assemblages in the Forsmark Biotest Basin. SNV PM 3355.
- Snoeijs, P. 1988: Ecological studies of epilithic algae and fauna in the Baltic hydrolittoral. Acta Univ. Ups. 176.
- Svensson, R. & Wigren-Svensson, M. 1982: Vegetationen i Biotestsjön, Forsmarks kärnkraftverk, 1980 och 1981. SNV PM 1501.
- Svensson, R. & Wigren-Svensson, M. 1983: Förändringar av vegetationen i Biotestsjön, Forsmarks kärnkraftverk, 1980-1982. SNV PM 1640.
- Waern, M. 1952: Rocky-shore algae in the Öregrund Archipelago. Acta Phytogeogr. Suec. 30.
- Waern, M. 1965: A vista on the marine vegetation. Acta Phytogeogr. Suec. 50: 15-27.
- Wallentinus, I. 1972: Makroskopiska alger och vattenlevande fanerogamer vid svenska östersjökusten. Zool. Revy 34: 69-84.
- Wallentinus, I. 1976: Environmental influences on benthic macrovegetation in the Trosa-Askö area, northern Baltic proper. I. Hydrographical and chemical parameters, and the macrophytic communities. Contrib. Askö lab. Univ. Stockh. 15.
- Wallentinus, I. 1979: Environmental influences on benthic macrovegetation in the Trosa-Askö area, northern Baltic proper. II. The ecology of macroalgae and submersed phanerogams. Contrib. Askö lab. Univ. Stockh. 25.
- Widahl, L.-E. 1985: Inventering av bottenvegetationen i Biotestsjön, Forsmark, 1983. SNV, Miljökontrollab., Kustvattenenh. (stencil).
- Wigren, M. & Svensson, R. 1974: Inventering av strandfloran och bottenvegetationen i anslutning till Forsmarks kärnkraftverk. Inst. syst. bot., Upps. univ. (stencil).
- Willén, T. 1985: Phytoplankton, chlorophyll a and primary production in the Biotest Basin, Forsmark, 1981-1982. I: 9th BMB Symposium Turku/Åbo Finland, 11-15 June 1985, Åbo Akad.: 123-125.

6. Bilaga

Förteckning över Biotestsjöns viktigaste makroskopiska botten- och strandvegetationsarter.

Bottenvegetationsarter

Chlorophyta

Charophyceae	<i>Chara aspera</i>	Borststräffe
	<i>Chara baltica</i>	Grönsträffe
	<i>Chara fragilis</i>	Skörsträffe
	<i>Chara tomentosa</i>	Rödsträffe
	<i>Tolypella nidifica</i>	Havsslinke
Chlorophyceae	<i>Cladophora fracta</i>	-
	<i>Cladophora glomerata</i>	Grönslick
	<i>Cladophora rupestris</i>	Bergborsting
	<i>Enteromorpha ahlnneriana</i>	Tarmtång
	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	Enkel tarmtång
Chrysophyta	<i>Vaucheria</i> cfr <i>dichotoma</i>	Svartskinna
Phaeophyta	<i>Chorda filum</i>	Snärjtång
	<i>Fucus vesiculosus</i>	Blåstång
	<i>Stictyosiphon tortilis</i>	-
Rhodophyta	<i>Ceramium tenuicorne</i>	Ullsleke
	<i>Furcellaria fastigiata</i>	Gaffeltång
	<i>Polysiphonia</i> cfr <i>nigrescens</i>	Fjäderslick
Bryophyta	<i>Drepanocladus aduncus</i>	Ler-krokmossa
Spermatophyta	<i>Callitriche hermaphroditica</i>	Höstlånke
	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Axslinga
	<i>Najas marina</i>	Havsnajas
	<i>Potamogeton filiformis</i>	Trådnate
	<i>Potamogeton pectinatus</i>	Borstnate
	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Ålnate
	<i>Ranunculus baudotii</i>	Vitstjälksmöja
	<i>Ruppia spiralis</i>	Skruvning
	<i>Zannichellia palustris</i> var. <i>major</i>	Storsärv
	<i>Zannichellia palustris</i> var. <i>repens</i>	Hårsärv

Strandvegetationsarter (med * anges arter som är beståndsbildande och mätts upp)

Agrostis stolonifera*	Krypven
Angelica sylvestris	Strätta
Aster tripolium*	Strandaster
Atriplex latifolia	Spjutmålla
Atriplex patula	Vägmålla
Caltha palustris	Kabbeleka
Carex elata	Bunkestarr
Carex extensa	Segstarr
Carex nigra	Hundstarr
Centaureum littorale	Kust-arun
Cirsium palustre	Kärtistel
Dactylorhiza incarnata	Ängsnycklar
Deschampsia bottnica*	Gultåtel
Elymus arenarius*	Strandråg
Festuca arundinacea*	Rörsvingel
Festuca rubra	Rödsvingel
Filipendula ulmaria	Älgräs
Glaux maritima	Strandkrypa
Juncus articulatus*	Ryltåg
Juncus gerardii*	Salttåg
Linum catharticum	Vildlin
Lysimachia vulgaris	Strandlysing
Lythrum salicaria	Fackelblomster
Mentha aquatica	Vattenmynta
Ophioglossum vulgatum	Ormtunga
Parnassia palustris	Slätterblomma
Pedicularis palustris	Kärrspira
Phalaris arundinacea*	Rörflen
Phragmites communis*	(Blad)vass
Plantago major	Groblad
Plantago maritima	Gulkämpar
Polygala amarella	Rosettjungfrulin
Potentilla anserina	Gåsört
Rhinanthus minor	Ängsskallra
Rumex crispus	Krusskräppa
Samolus valerandi	Bunge
Scirpus maritimus*	Havssäv
Scirpus tabernaemontani*	Blåsäv
Scirpus uniglumis	Agnsäv
Selinum carvifolia	Krusfrö
Spergularia marina	Saltnarv
Thalictrum flavum	Ängsruta
Triglochin maritimum*	Havssälting
Valeriana salina	Strandvänderot
Vicia cracca	Kräkvicker

Rapporten sammanfattar åtta års undersökningar av vegetationsförändringarna i och omkring Biotestsjön vid Forsmarks kärnkraftverk. Arbetet omfattar bottenvegetationen och strandvegetationen, bestående av makroalger och högre växter. Några för sjön speciella och väsentliga miljöfaktorer behandlas, som temperaturförhöjningen, frånvaron av istäcke, den kraftiga vattenströmmen genom sjön samt effekten av själva invallningen. De ingående arternas ekologi och frekvensförändringar presenteras. Makrofyternas biomassa redovisas för sjöns olika områden, för hela sjön liksom fördelat på de olika arterna. Jämförelser görs med andra delar av Östersjön.

ISBN 91-620-3767-6

ISSN 0282-7298

Statens Naturvårdsverk 1990